

VISIT...

LANZAROTE  
*Caliente*.COM

В. П. Хоменко,

---

Г. Г. Фаренюк,

---

кандидаты техн. наук

# **Справочник**

---

## **по теплозащите зданий**

Киев  
«Будівельник»  
1986

38.637я2

X76

УДК 691:699.86(031)

**Справочник по теплозащите зданий / В. П. Хоменко, Г. Г. Фаренюк.**— К.: Будівельник, 1986.— 216 с.

Даны характеристики теплозащитных материалов, способы определения их теплофизических свойств и стойкости к климатическим воздействиям. Содержатся методы теплотехнического расчета, оценки долговечности и теплотехнических параметров ограждающих конструкций, а также контроля теплозащиты зданий при строительстве и эксплуатации.

Нормативные документы приведены по состоянию на 1 декабря 1985 г.

Для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций. Табл. 33. Ил. 17. Библиогр.: с. 212—214.

Рецензенты: *канд. техн. наук Л. Ф. Черных, инж. Е. А. Кожан*

Редакция литературы по строительным конструкциям, материалам и изделиям  
Зав. редакцией *инж. А. А. Петрова*

*Виллен Петрович Хоменко, Геннадий Григорьевич Фаренюк*

## **Справочник по теплозащите зданий**

Редактор *Т. Б. Богданова*  
Обложка художника *М. М. Суханкина*  
Художественный редактор *Б. В. Сушко*  
Технический редактор *З. П. Золотарева*  
Корректоры *И. В. Симакова, Н. Н. Басенко*

ИБ № 2676

Сдано в набор 01.04.86. Подп. в печ. 17.10.86. БФ 03909. Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бум. тип. № 3. Гарн. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 13,5. Усл. кр.-отт. 13,5. Уч.-изд. л. 15,99. Тираж 12 000 экз. Изд. № 105. Заказ № 6—1283. Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Будівельник», 252053, Киев-53, Обсерваторная, 25.  
Киевская фабрика печатной рекламы им. XXVI съезда КПСС, 252067, Киев-67, Выборгская, 84.

X  $\frac{3204000000-090}{M203(04)-86}$  72.86

© Издательство «Будівельник», 1986

Центральное звено инвестиционной политики — коренное повышение эффективности капитального строительства. Особое место здесь принадлежит проектировщикам. Они на деле должны стать ускорителями научно-технического прогресса, предусматривать в своих разработках широкое применение ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования, экономичных объемно-планировочных решений, конструкций, материалов, обеспечивая тем самым снижение удельных показателей сметной стоимости.

На совещании ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса 11 июня 1985 года отмечено, что наступает новый этап научно-технической революции, обеспечивающей многократное повышение производительности труда, огромную экономию ресурсов, улучшение качества продукции. Конкретные пути осуществления этой цели определены Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года. XXVII съезд Коммунистической партии Советского Союза поставил задачу превратить ресурсосбережение в решающий источник удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства.

Энергоемкость национального дохода с 1986 по 2000 год должна быть снижена не менее чем в 1,4 раза, а металлоемкость — почти в 2 раза. В 12-й пятилетке должно быть обеспечено 75—80 процентов прироста потребности в сырье, материалах, топливе и энергии за счет их экономии.

В последние годы разработан ряд нормативных документов, направленных на повышение теплозащиты зданий:

рекомендации, предусматривающие выбор рациональных объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, правильную их ориентацию по отношению к господствующим ветрам в холодный период года, уменьшение площадей световых проемов, применение эффективных теплоизоляционных материалов и герметиков;

ГОСТы по определению и контролю теплофизических свойств строительных материалов и теплотехнических показателей ограждающих конструкций и их долговечности;

указания Госстроя СССР о новом порядке оценки энергии и топлива при сопоставлении проектных решений в расчетах сравни-



тельной эффективности капитальных вложений (январь 1979 г.), о повышении уровня тепловой защиты общественных, производственных зданий и сооружений (август, октябрь 1980 г.), требующих значительного повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций;

главы СНиП II-3-79\* «Строительная теплотехника» и СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика», в которых усовершенствованы методы нормирования теплозащиты.

В связи с этим возрастают требования к точности прогнозирования теплопотерь и влажностного состояния ограждающих конструкций на стадиях их проектирования, экспериментальной оценки этих показателей при разработке и создании опытных образцов новых типов конструкций и зданий на их основе и контролю тепло-влажностных свойств при эксплуатации зданий.

Наиболее эффективный путь экономии топливно-энергетических ресурсов — повышение теплозащиты зданий и сооружений, так как на теплоснабжение только жилых и общественных зданий расходуется до 30 % всего добываемого в стране твердого и газообразного топлива. На характер эксплуатации зданий и сооружений существенно повлияло повышение этажности зданий, усложнение герметизации стыков в связи с применением сборных конструкций, инженерного оборудования.

Стоимость всех эксплуатируемых зданий и сооружений составляет уже более 50 % основных фондов народного хозяйства страны. Сбережение этого народного богатства, содержание его в состоянии, пригодном для длительного использования в течение установленного срока с наименьшими экономическими затратами,— важная народнохозяйственная задача.

В предлагаемом справочнике изложены теплофизические свойства строительных материалов и теплотехнические показатели ограждающих конструкций зданий и сооружений и микроклимата их помещений, на основании которых осуществляют прогнозирование тепловлажностного состояния ограждающих конструкций, их долговечности и надежности. Даны характеристики эффективных строительных теплоизолирующих и герметизирующих материалов и ограждающих конструкций с указанием их теплозащитных качеств. Включены современные методы теплотехнических расчетов ограждающих конструкций и экспериментальной оценки их теплотехнических показателей в лабораторных, заводских, построечных и эксплуатационных условиях, а также восстановления этих показателей в процессе эксплуатации зданий.

Справочник составлен на основании действующих нормативных документов, а также обобщения передового опыта ведущих проектных, научно-технических и строительных организаций страны.

- $z$  — время, с;  
 $\delta$  — толщина конструкции (слоя материала), м;  
 $l$  — линейный размер, м;  
 $t$  — температура воздуха, К (°С);  
 $\tau$  — температура тела на поверхности или в толще, К (°С);  
 $\Delta t$  — разность температур воздуха и поверхности тела, К (°С);  
 $Q$  — тепловой поток, Вт;  
 $e$  — парциальное давление водяного пара, Па;  
 $E$  — парциальное давление насыщенного водяного пара, Па;  
 $\theta$  — потенциал влажности, °В;  
 $F$  — площадь, м<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\alpha$  — температуропроводность, м<sup>2</sup>/с;  
 $w$  — влагосодержание материала, %;  
 $v$  — скорость, м/с;  
 $\varphi$  — относительная влажность воздуха, %;  
 $q$  — поверхностная плотность теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $\lambda$  — теплопроводность, Вт/(м·К);  
 $C$  — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  
 $R_0$  — сопротивление теплопередаче, м<sup>2</sup>·К/Вт;  
 $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $j_i$  — поверхностная плотность потока массы ( $i=1$  — парообразной,  $i=2$  — жидкой), кг/(м<sup>2</sup>·с);  
 $\mu$  — коэффициент паропроницаемости, кг/(м·с·Па);  
 $\beta$  — коэффициент влагопроводности, кг/(м·с·%);  
 $\alpha_m$  — коэффициент влагоотдачи, кг/(м<sup>2</sup>·с·°В);  
 $\Gamma$  — относительная погрешность;  
 $\sigma$  — сопротивление материала сжатию, растяжению, Па.

# **І. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. НОРМИРУЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И МИКРОКЛИМАТА ЗДАНИЙ**

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций зданий и сооружений осуществляют с использованием следующих теплофизических свойств материалов: теплопроводности, температуропроводности, теплоемкости, паропроницаемости, влагопроводности, сорбции.

Теплопроводность  $\lambda$ , Вт/(м·К), характеризует стационарные процессы теплопередачи в материале. Плотность теплового потока при стационарных температурных условиях определяют уравнением

$$\vec{q} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial x} . \quad (I.1)$$

В соответствии с ГОСТ 16381—77, к теплоизоляционным относятся материалы теплопроводностью не более 0,175 Вт/(м·К) при температуре 25 °С и плотностью не более 600 кг/м³. Теплопроводность теплоизолирующих материалов зависит от их плотности (рис. I.1, а), пористости, структуры и формы пор, температуры, влажности, фазового состава влаги и других факторов. Закон изменения теплопроводности сухих строительных материалов от их температуры обычно близок к линейному (рис. I. 1, б).

Увеличение количества мелких и замкнутых пор всегда существенно понижает теплопроводность. В крупных порах, а особенно в сообщающихся между собой, возникают конвективные потоки воздуха, снижающие теплоизолирующий эффект пористости. По мере уменьшения общей плотности бетона количество крупных пор обычно увеличивается и теплопроводность уменьшается. Заметную роль играют не только общая пористость, но и форма, размер и ориентация пор, поскольку направление потока тепла и излучения внутри пор оказывают большое влияние на общую теплопроводность материала.

Существенное значение для теплопроводности имеет химическая природа веществ, входящих в состав материала. Причем, чем тяжелее атомы или атомные группы, образующие кристаллы материала, чем слабее они между собой связаны, тем меньше теплопроводность материала. Теплопроводность шлакобетонов на металлургических шлаках меньше по сравнению со шлакобетонами такой же плотности, но на топливных (котельных) шлаках. Напри-

мер, при плотности  $1600 \text{ кг/м}^3$  для первого вида шлакобетона (в сухом состоянии) теплопроводность  $0,65$ , а для второго —  $0,815 \text{ Вт/(м·К)}$ . Это объясняется тем, что в состав металлургических шлаков входит кальций, марганец и железо, относительная атомная масса которых значительно больше, чем углерода и серы, входящих в состав топливных шлаков.

На каждый процент массовой влажности (от 1 до 7 %) теплопроводность легких бетонов марки 50 на керамзитовом заполните-

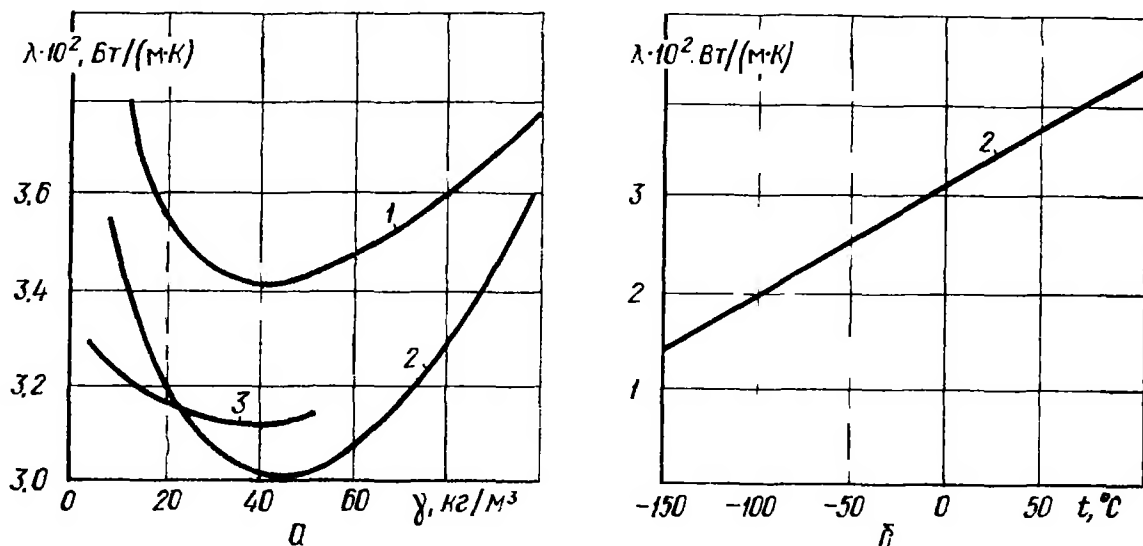


Рис. 1.1. Зависимость теплопроводности пенопластов от их плотности (а) и температуры (б) [35]:

1 — полистирольный; 2 — фенольный; 3 — мочевиноформальдегидный.

ле может изменяться в пределах  $0,0097...0,021 \text{ Вт/(м·К)}$ . При этом меньший прирост характерен для бетонов с крупнопористой и крупнозернистой структурой. Каждый процент увеличения объемной влажности керамзитобетона в среднем повышает его теплопроводность на  $0,016 \text{ Вт/(м·К)}$  при использовании в качестве мелкого заполнителя керамзитового песка и на  $0,035...0,055 \text{ Вт/(м·К)}$  — при использовании кварцевого. При отрицательных температурах теплопроводность влажных строительных материалов определяется характером криогенных фазовых превращений влаги и может быть выше или ниже чем в зоне положительной температуры. Это объясняется тем, что при отрицательной температуре влага в межпоровом пространстве может не превращаться в лед, а выпадать в виде инея, теплопроводность которого ниже чем у льда и воды [47]. Когда влаги недостаточно для образования и заполнения крупных пор льдом, где в первую очередь происходят криогенные фазовые превращения, теплопроводность материала снижается. Причем лед сорбирует влагу из более мелких пор и тем самым как бы осушает материал. При большом влагосодержании материала лед в его порах образует не вкрапления, а мостики холода, существенно увеличивая теплопроводность материала. Зависимость теплопроводности некоторых строительных материалов от их температуры и влажности показана на рис. 1.2, 1.3.

При эксплуатации зданий передача тепла через ограждения происходит в нестационарных температурных условиях и характеризуется теплопроводностью материала ограждающей конструкции. Характер зависимости теплопроводности теплоизоляционных строительных материалов от их температуры и влажности аналогичен зависимости теплопроводности от этих параметров. Температурное поле сухой ограждающей конструкции

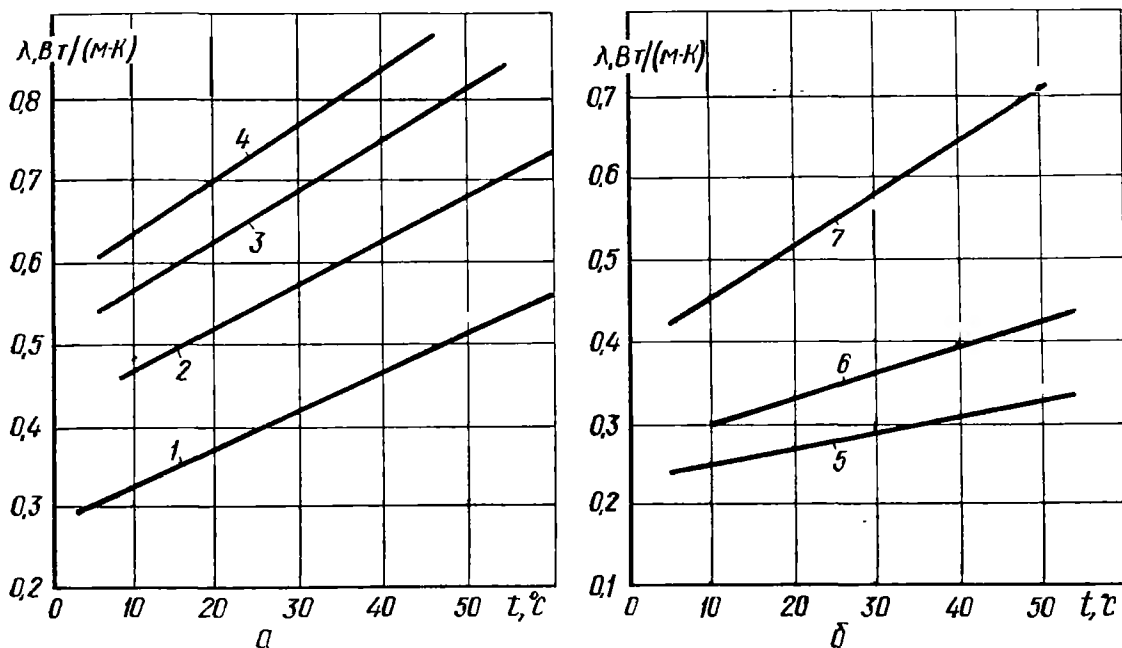


Рис. I.2. Зависимость теплопроводности газозолобетона (а) и пенобетона (б) от температуры при различной их влажности [13, 23, 47, 53]:  
1 —  $w=4,8\%$ ; 2 —  $w=17\%$ ; 3 —  $w=33\%$ ; 4 —  $w=38\%$ ; 5 —  $w=1,4\%$ ; 6 —  $w=6\%$ ; 7 —  $w=28\%$ .

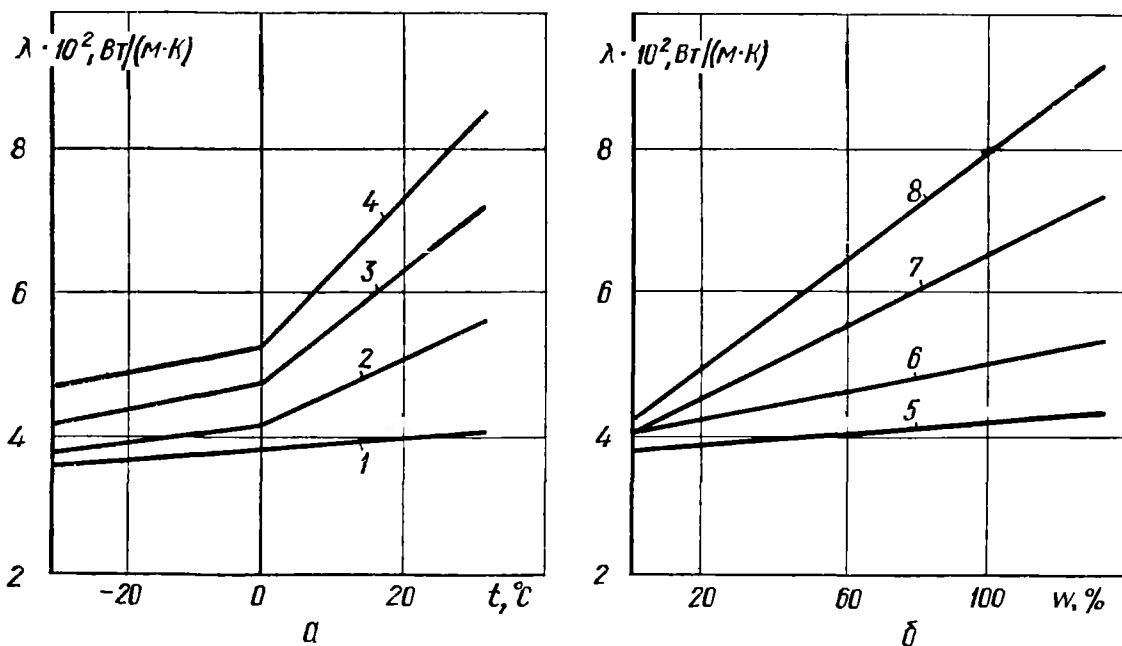


Рис. I.3. Зависимость теплопроводности пенопласта резопен с  $\gamma=55 \dots 65 \text{ кг}/\text{м}^3$  от его температуры (а) и влажности (б):  
1 —  $w=0\%$ ; 2 —  $w=30\%$ ; 3 —  $w=100\%$ ; 4 —  $w=130\%$ ; 5 —  $t=-30^{\circ}\text{C}$ ; 6 —  $t=0^{\circ}\text{C}$ ; 7 —  $t=+20^{\circ}\text{C}$ ; 8 —  $t=+30^{\circ}\text{C}$ .

при неустановившемся тепловом режиме описывают уравнением Фурье:

$$\frac{\partial \tau(x, z)}{\partial z} = a \frac{\partial^2 \tau(x, z)}{\partial x^2} \quad (1.2)$$

или

$$C\gamma \frac{\partial \tau(x, z)}{\partial z} = \lambda \frac{\partial^2 \tau(x, z)}{\partial x^2} .$$

Плотность потока парообразной влаги через слой материала

$$\vec{j}_1 = -\mu \frac{\partial e}{\partial x} . \quad (1.3)$$

Паропроницаемость зависит от температуры, влажности, структуры материала, парциального давления водяного пара в межпоровом пространстве, форм связи влаги с материалом. Зависимость коэффициента паропроницаемости от влажности материала близка к изотерме сорбции, а от температуры — линейная [54]. Плотность потока жидкой влаги вычисляют

$$\vec{j}_2 = -\beta \frac{dw}{\partial x} . \quad (1.4)$$

При расчете тепловлажностного состояния строительных конструкций по теории термовлагопроводности [24] поток влаги не разделяют на парообразную и жидкую составляющие, а рассматривают совместно:

$$\vec{j} = \vec{j}_1 + \vec{j}_2 = -a_m \gamma \left( \frac{\partial w}{\partial x} + K_t \frac{\partial \tau}{\partial x} \right) , \quad (1.5)$$

где  $a_m$  — коэффициент диффузии влаги,  $\text{м}^2/\text{с}$  (по физическому смыслу аналог коэффициента температуропроводности);  $K_t$  — термоградиентный коэффициент,  $\text{К}^{-1}$  или  $\%$   $\text{К}^{-1}$ , определяющий перенос влаги в теле, вызванный единичным градиентом температуры.

В качестве движущей силы, определяющей совместное перемещение парообразной и жидкой влаги по теории В. Н. Богословского, принят потенциал влажности  $\theta$ , функционально связанный с влагосодержанием материала. Это удельная энергия влаги, отнесенная к ее массе. Значение  $\theta$  определяется потенциалами всех силовых полей, действующих на влагу [14]. При этом плотность потока влаги

$$\vec{j} = -\kappa \frac{\partial \theta}{\partial x} , \quad (1.6)$$

где  $\kappa$  — влагопроводимость материала,  $\text{кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{В})$ , по физическому смыслу — аналог его теплопроводности.

**Изотермы сорбции** характеризуют процесс увлажнения материала путем поглощения парообразной влаги из окружающего воздуха. Термин «сорбция» объединяет два физических явления: адсорбцию и абсорбцию.

Форма изотерм сорбции определяется формой связи влаги с материалом [2, 9, 24, 54]. Сорбционные свойства материала зависят от температуры. При ее повышении равновесное влагосодержание уменьшается, а при уменьшении — увеличивается.

По СНиП II-3-79\* к основным теплотехническим показателям ограждающих конструкций зданий и сооружений относятся сопротивление теплопередаче, тепловая инерция, теплоустойчивость и теплоусвоение, сопротивление воздухо- и паропрооницанию.

Сопротивление теплопередаче однослойной конструкции определяют по формуле

$$R_0 = R_{\text{в}} + R + R_{\text{н}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} . \quad (1.7)$$

Сопротивление теплопередаче многослойной конструкции вычисляют по формуле

$$R_0 = R_{\text{в}} + \sum_{i=1}^n R_i + \sum_{i=1}^{n-1} R_{n_i} + R_{\text{н}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\delta_{n_i}}{\lambda_{n_i}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} , \quad (1.8)$$

где  $n$  — количество слоев;  $\delta_i, \lambda_i$  — соответственно толщина и теплопроводность слоя конструкции;  $\delta_{n_i}$  — толщина зазора между слоями;  $\lambda_{n_i}$  — эффективная теплопроводность воздушного зазора, учитывающая перенос тепла через него теплопроводностью, излучением и конвекцией.

Формулы (1.7), (1.8) справедливы только для термически однородных конструкций, передача тепла через которые происходит только в одном измерении. Примером таких конструкций могут служить глухие стены одноэтажных зданий, выполненные из монолитного однородного материала без примыкания по всей площади стен перегородок.

Расчет теплопотерь через ограждения сложной конструкции осуществляют по приведенному сопротивлению теплопередаче  $R_{\text{пр}0}$  (приведенным называют сопротивление теплопередаче такого условного ограждения с одномерным температурным полем, потери тепла через которое при одинаковой площади равны теплопотерям сложного ограждения с двумерным температурным полем).

Отношение амплитуды колебания теплового потока  $A_Q$  к амплитуде колебания температуры на внутренней поверхности ограждения  $A_{\tau}$  называют коэффициентом теплоусвоения внутренней поверхности ограждения  $Y_{\text{в}} = \frac{A_Q}{A_{\tau}}$ .

Коэффициент теплоусвоения однослойной конструкции определяется теплофизическими свойствами его материала и периодом колебания тепловых воздействий:

$$Y = S = \sqrt{\lambda C \gamma 2\pi / z} , \quad (1.9)$$

где  $S$  — коэффициент теплоусвоения материала, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $2\pi/z$  — частота колебаний температуры, 1/ч (здесь  $z$  — период колебаний, ч).

При  $z=24$  ч

$$S = 0,51 \sqrt{\lambda C \gamma}. \quad (I.10)$$

Отношение амплитуды  $A_\tau$  на поверхности, воспринимающей колебания температуры внешней среды, к затухающей амплитуде  $A'_\tau$  на противоположной поверхности называется затуханием амплитуд  $\nu$  внутри конструкции.

Интенсивность затухания колебаний температуры внутри однородной ограждающей конструкции характеризуется безразмерной величиной

$$D = RS \quad (I.11)$$

и называется тепловой инерцией конструкции. Для многослойной ( $n$  слоев) конструкции

$$D = \sum_{i=1}^n R_i S_i. \quad (I.12)$$

Тепловая инерция ограждающей конструкции определяет продолжительность времени, необходимого для предельного ее охлаждения. Чем больше тепловая инерция, тем длительнее это время.

По тепловой инерции все ограждающие конструкции делят на четыре класса: безынерционные  $D \leq 1,5$ ; малой инерционности  $1,5 < D \leq 4$ ; средней инерционности  $4 < D \leq 7$  и большой инерционности  $D > 7$ .

В теплотехнических расчетах применяют следующие характеристики воздухопроницаемости: коэффициент воздухопроницаемости  $i$ , кг/(м·с·Па); сопротивление воздухопроницанию  $R_n$ , (м<sup>2</sup>·с·Па)/кг. Для однородных однослойных конструкций

$$R_n = \delta/i; \quad (I.13)$$

для многослойных

$$R_n = \sum_{i=1}^n R_{n_i}, \quad (I.14)$$

где  $R_{n_i}$  — сопротивление воздухопроницанию  $i$ -го слоя, рассчитываемого по формуле (I.13).

Сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций  $R^n$  рассчитывают по зависимости

$$R_n = R_n^B + \sum_{i=1}^n R_{n_i} + R_n^H = \frac{1}{\alpha_m^B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} + \frac{1}{\alpha_m^H}, \quad (I.15)$$

где  $R_n^B$ ,  $R_n^H$  — сопротивление влагообмену соответственно между внутренней и наружной поверхностями конструкции и воздухом;  $\alpha_m^B$ ,  $\alpha_m^H$  — коэффициенты влагоотдачи, кг/(м<sup>2</sup>·с·Па).

#### ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОКЛИМАТА ПОМЕЩЕНИЙ

Микроклимат помещений должен соответствовать условиям, устанавливаемым в зависимости от функционального назначения помещения, для восприятия комфортности которых важна клима-



тическая адаптация человека, его привычки. Поэтому гигиенисты рекомендуют различные параметры теплового комфорта в зависимости от климатического района эксплуатации здания (табл. I.1).

Таблица I.1. Гигиенические требования к тепловому режиму жилых помещений в разных климатических районах (по рекомендациям Киевского НИИ общей и коммунальной гигиены) [66]

| Параметры воздуха | Сезон | Значения параметров для климатических районов |            |            |            |
|-------------------|-------|-----------------------------------------------|------------|------------|------------|
|                   |       | I                                             | II         | III        | IV         |
| Температура, °C   | Зима  | 21...22                                       | 18...20    | 18...19    | 17...19    |
|                   | Лето  | 23...24                                       | 23...24    | 25...26    | 25...26    |
| Влажность, %      | Зима  | 30...45                                       | 30...45    | 35...50    | 35...50    |
|                   | Лето  | 35...50                                       | 35...50    | 30...60    | 30...60    |
| Подвижность, м/с  | Зима  | 0,08...0,1                                    | 0,08...0,1 | 0,08...0,1 | 0,08...0,1 |
|                   | Лето  | 0,08...0,1                                    | 0,08...0,1 | 0,1...0,15 | 0,1...0,15 |

Для человека полезно изменение температуры в течение дня, что связано с интенсивностью обмена веществ и с особенностью его деятельности. Сон в условиях даже небольшого перегрева протекает беспокойно, а умеренно низкая температура при хорошей теплоизоляции кожной поверхности углубляет его. Последнее особенно важно для здорового сна детей и людей преклонного возраста. В табл. I.2 представлены гигиенические рекомендации ком-

Таблица I.2. Гигиенические требования к тепловому режиму жилища в зависимости от возрастной группы (по рекомендациям Киевского НИИ общей и коммунальной гигиены) [66]

| Возрастные группы | Назначение комнат | Температура, °C | Влажность, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------------|
| 12...13 лет       | Общие             | 20...22         | 45...50      | 0,1...0,15                     |
|                   | Спальни           | 16...17         | 38...50      | 0,08...0,1                     |
| 20...30 »         | Общие             | 18...20         | 45...50      | 0,1...0,15                     |
|                   | Спальни           | 14...15         | 38...50      | 0,08...0,1                     |
| 55...60 »         | Общие             | 20...22         | 45...50      | 0,1...0,15                     |
|                   | Спальни           | 16...17         | 38...50      | 0,08...0,1                     |

фортного теплового режима жилища при конвективном обогреве зимой.

Тесно связано с тепловым режимом жилища обеспечение чистоты его воздушной среды. Основной показатель, характеризующий загрязнение воздуха в помещении,— содержание углекислого газа  $\text{CO}_2$ . При предельно допустимой концентрации  $\text{CO}_2$  (0,1 % на 1 м<sup>3</sup> воздуха) должен быть обеспечен воздухообмен не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на человека. При комфортных условиях объем свежего воздуха, подаваемого в жилые комнаты,— 40...60 м<sup>3</sup>/ч на человека. В этих условиях обеспечивается должная чистота воздуха, улучшается ионный состав (количество легких ионов увеличивается, а тя-

**Т а б л и ц а 1.3. Расчетная температура воздуха жилых и общественных зданий в отопительный период (по СНиП II-65-73, СНиП II-66-78, СНиП II-68-78, СНиП II-69-78, СНиП II-70-74, СНиП II-71-79, СНиП II-76-78, СНиП II-77-80, СНиП II-79-78, СНиП II-80-75, СНиП II-83-78, СНиП II-Л.1-71 \***

| Здания и помещения                                                                                                                                                                                                            | Расчетная температура, °С |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Жилые здания</b>                                                                                                                                                                                                           |                           |
| жилые комнаты                                                                                                                                                                                                                 | 16                        |
| кухни, постирочные, гладильные в общежитиях                                                                                                                                                                                   | 15                        |
| ванные                                                                                                                                                                                                                        | 25                        |
| <b>Общеобразовательные школы и школы-интернаты, профессионально-технические, высшие и средние специальные учебные заведения</b>                                                                                               |                           |
| классы, кабинеты, лаборатории, учительские в IА, IБ, IГ климатических подрайонов                                                                                                                                              | 21                        |
| то же, в IV климатическом районе                                                                                                                                                                                              | 17                        |
| то же, во II, III климатических районах, IВ и IД климатических подрайонах, а также аудитории до 150 мест, чертежные и читальные залы, лаборатории, служебные помещения                                                        | 18                        |
| мастерские по обработке металла и древесины в IА, IБ и IГ климатических подрайонах                                                                                                                                            | 18                        |
| то же, во II, III, IV климатических районах и IВ и IД подрайонах, лаборатории                                                                                                                                                 | 16                        |
| спортивные залы в IА, IБ и IГ климатических подрайонах                                                                                                                                                                        | 17                        |
| то же, во II, III, IV районах и IВ, IД подрайонах                                                                                                                                                                             | 15                        |
| раздевалочные при спортивном зале в IА, IБ и IГ климатических подрайонах                                                                                                                                                      | 22                        |
| то же, в IV климатическом районе                                                                                                                                                                                              | 19                        |
| то же, во II и III районах и IВ, IД подрайонах, а также лаборатории с точными измерительными приборами                                                                                                                        | 20                        |
| душевые соответственно по климатическим районам                                                                                                                                                                               | 23, 22, 20                |
| <b>Лечебно-профилактические учреждения и санатории</b>                                                                                                                                                                        |                           |
| палаты для взрослых больных, помещения для матерей в детских отделениях, помещения гипотерапии, палаты для туберкулезных (взрослых и детей) спальные комнаты санаториев                                                       | 20                        |
| кабинеты промывания желудка, трансдуоденального промывания, послеоперационные, послеродовые палаты, реанимационные залы, палаты интенсивной терапии, родовые, операционные, наркозные                                         | 22                        |
| палаты для больных гипертонией                                                                                                                                                                                                | 24                        |
| кабинеты грязелечения, сероводородных ванн, подводного душа-массажа, зал гидропатии, палаты для недоношенных, травмированных, грудных и новорожденных детей, для больных тиреотоксизмом, помещения для нагрева лечебной грязи | 25                        |
| стерилизационные при операционных; лаборатории и помещения для производства анализов                                                                                                                                          | 15                        |
| стерилизационные при операционных; лаборатории и помещения для производства анализов                                                                                                                                          | 16                        |
| стерилизационные при операционных; лаборатории и помещения для производства анализов                                                                                                                                          | 18                        |
| <b>Спортивные сооружения</b>                                                                                                                                                                                                  |                           |
| спортивные залы, стрелковые галереи, учебные классы; помещения для хранения лыж, оружия                                                                                                                                       | 18                        |
| вестибюли бассейнов                                                                                                                                                                                                           | 20                        |
| массажные, помещения для отдыха занимающихся в бассейнах                                                                                                                                                                      | 22                        |
| душевые, раздевалочные                                                                                                                                                                                                        | 25                        |
| камеры бань сухого жара (сауны)                                                                                                                                                                                               | 120                       |
| <b>Оздоровительные учреждения и учреждения отдыха</b>                                                                                                                                                                         |                           |
| спальные комнаты, гостиные, комнаты дневного пребывания, помещения администрации и общественных организаций                                                                                                                   | 18                        |
| игровые комнаты для детей, раздевалочные                                                                                                                                                                                      | 19                        |
| помещения медицинского пункта и изолятора                                                                                                                                                                                     | 20                        |
| комната чистки одежды                                                                                                                                                                                                         | 17                        |
| кладовые белья, инвентаря, вестибюль                                                                                                                                                                                          | 16                        |

| Здания и помещения                                                                                                                        | Расчетная температура, °C |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Вокзалы</b>                                                                                                                            |                           |
| операционные и кассовые залы, кабины касс, комнаты длительного пребывания пассажиров                                                      | 18                        |
| вестибюли, коридоры, переходы                                                                                                             | 10                        |
| <b>комнаты матери и ребенка:</b>                                                                                                          |                           |
| приемная, гардероб, детские уборные                                                                                                       | 18                        |
| спальни и игровые                                                                                                                         | 20                        |
| <b>Гостиницы</b>                                                                                                                          |                           |
| номера                                                                                                                                    | 20                        |
| служебные и бытовые помещения                                                                                                             | 18                        |
| <b>Магазины</b>                                                                                                                           |                           |
| <b>торговые залы в магазинах:</b>                                                                                                         |                           |
| продовольственных                                                                                                                         | 12                        |
| непродовольственных                                                                                                                       | 15                        |
| помещения для подготовки товаров к продаже, комплекточные, приемочные, гладильные                                                         | 16                        |
| демонстрационные залы                                                                                                                     | 18                        |
| разрубочные                                                                                                                               | 10                        |
| <b>кладовые:</b>                                                                                                                          |                           |
| бакалея, хлеб, кондитерские изделия                                                                                                       | 16                        |
| гастрономия, рыба, молоко, фрукты, вина                                                                                                   | 8                         |
| обувь, парфюмерия, товары бытовой химии                                                                                                   | 16                        |
| охлаждаемые камеры овощей, ягод, фруктов и квашений                                                                                       | 4                         |
| охлаждаемые камеры для хранения пищевых отходов                                                                                           | 2                         |
| <b>Предприятия бытового обслуживания населения</b>                                                                                        |                           |
| цех приема, выдачи белья                                                                                                                  | 17                        |
| помещения стирки, полоскания, отжимания, приготовления технологических растворов, хранения стиральных материалов, сушильно-гладильных цех | 15                        |
| лаборатория, диспетчерская, помещения приема, сортировки, разборки, хранения белья                                                        | 18                        |
| <b>Здания конструкторских и проектных организаций</b>                                                                                     |                           |
| проектные залы и комнаты, служебные помещения, приемные при кабинетах, лаборатории                                                        | 18                        |
| макетные мастерские, конференц-залы и залы совещаний, вестибюли, буфеты                                                                   | 16                        |
| медицинские пункты                                                                                                                        | 20                        |
| палаты личной гигиены женщин                                                                                                              | 23                        |
| кладовые, санитарные узлы, умывальные                                                                                                     | 16                        |

желых уменьшается), резко уменьшается количество пыли и микробов.

Интенсивность отдачи тепла человеком зависит от теплового режима в помещении, определяемого следующими показателями: температурой  $t_v$ , подвижностью  $V_v$  и относительной влажностью  $\phi_v$  воздуха в помещении, температурой внутренней поверхности наружных и внутренних ограждений, расположение (относительно человека) и размеры которых определяют радиационную температуру помещения  $t_R$ . Комфортное сочетание этих показателей соответствует таким оптимальным метеорологическим условиям, при которых сохраняется тепловое равновесие, отсутствие напряжения в процессе терморегуляции.

**Таблица 1.4. Допустимые параметры воздуха в обслуживаемой зоне жилых и общественных зданий и в рабочей зоне производственных помещений (по СНиП II-33-75\*)**

| Характеристика помещений                                                                 | Период года           | Температура, °С  | Относительная влажность, % (не более) | Скорость движения, м/с (не более) |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Помещения жилых и общественных зданий, вспомогательные помещения производственных зданий | Холодный и переходный | 18...22          | 65                                    | 0,3                               |
|                                                                                          | Теплый                | $\leq t_n^l + 3$ | 65                                    | 0,5                               |
| Производственные                                                                         | Холодный и переходный | 13...22          | 75                                    | 0,3...0,5                         |
|                                                                                          | Теплый                | $\leq t_n^l + 5$ | 75                                    | 0,5                               |

**Таблица 1.5. Оптимальные параметры воздуха в обслуживаемой зоне жилых и общественных зданий и в рабочей зоне производственных помещений (по СНиП II-33-75\*)**

| Характеристика помещений                                                   | Период года           | Температура, °С | Относительная влажность, % (не более) | Скорость движения, м/с (не более) |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| В жилых и общественных зданиях, вспомогательные в производственных зданиях | Холодный и переходный | 20...22         | 45...30                               | 0,1...0,15                        |
|                                                                            | Теплый                | 20...25         | 60...30                               | Не более 0,25                     |
| Производственные                                                           | Холодный и переходный | 16...22         | 60...30                               | 0,2...0,3                         |
|                                                                            | Теплый                | 18...25         | 60...30                               | Не более 0,3                      |

Расчетная температура воздуха помещений в жилых и общественных зданиях приведена в табл. I.3.

Тепловой комфорт оказывает заметное влияние на производительность труда: число несчастных случаев увеличивается при отклонении температуры от оптимального значения на 3...5 °С. В табл. I.4 приведены допустимые параметры воздуха помещений производственных зданий, а в табл. I.5 — оптимальные значения этих параметров.

Параметры микроклимата определяют физиологическое состояние животных, от чего зависят их массы, удои. Общесоюзными нормами технологического проектирования животноводческих предприятий определены параметры воздуха в зависимости от функционального назначения помещений (табл. I.6...I.9).

**Таблица 1.6. Нормы температуры и влажности воздуха помещений для крупного рогатого скота (по ОНТП 1-77)**

| Наименование зданий и помещений                                                                                                                                                                                                           | Группы животных                                                                                          | Содержание животных                                         | Расчетная температура, °С | Относительная влажность, % |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                          |                                                             |                           | максимальная               | минимальная |
| Коровники, здания для молодняка и для откорма скота, помещения для передержки осемененных коров и содержания быков                                                                                                                        | Коровы, быки-производители, молодняк старше года, скот на откорме                                        | Привязное                                                   | 10                        | 75                         | 40          |
| Здания для молодняка                                                                                                                                                                                                                      | Молодняк в возрасте от 4...6 до 12 мес.                                                                  | Групповое, беспривязное                                     | 12                        | 75                         | 40          |
| Телятники                                                                                                                                                                                                                                 | Телята в возрасте от 10...20 дней и до 4...6 мес                                                         | Групповое беспривязное, боксовое и в индивидуальных клетках | 15                        | 75                         | 40          |
| Родильное отделение: для отела коров                                                                                                                                                                                                      | Коровы глубоко-стельные и новотельные                                                                    | Привязное и в денниках                                      | 15                        | 75                         | 40          |
| профилакторий                                                                                                                                                                                                                             | Телята в возрасте до 20 дней                                                                             | В индивидуальных клетках                                    | 20                        | 75                         | 40          |
| Помещения для санобработки скота                                                                                                                                                                                                          | Коровы и молодняк, телята                                                                                | —                                                           | 18                        | 75                         | —           |
| Доильно-молочное отделение                                                                                                                                                                                                                | То же                                                                                                    | —                                                           | 15                        | 75                         | —           |
| Пункт искусственного осеменения (манеж и лаборатория)                                                                                                                                                                                     | Коровы                                                                                                   | —                                                           | 18                        | 75                         | —           |
| Коровники и здания для молодняка молочных пород (в районах с расчетной зимней температурой воздуха —25 °С и ниже)                                                                                                                         | Коровы и молодняк всех возрастов молочных пород, мясные коровы перед отелом и непосредственно после него | Беспривязное на глубокой подстилке                          | 3                         | 85                         | 40          |
| Коровники и здания для молодняка молочных пород (в районах с расчетной зимней температурой воздуха выше —25 °С); для содержания мясных коров с телятами в возрасте от двух месяцев; трехстенные навесы для коров и молодняка мясных пород | Коровы и молодняк всех возрастов                                                                         | Беспривязное на глубокой подстилке                          | Не нормируется            |                            |             |

**Т а б л и ц а I.7. Нормы скорости движения воздуха в помещениях для крупного рогатого скота (по ОНТП 1-77)**

| Помещения                                                                                             | v, м/с      |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                                                                                                       | оптимальная | максимальная |
| Коровники для беспривязного и привязного содержания, здания для молодняка и скота на откорме          | 0,5         | 1            |
| Родильное отделение с профилакторием, телятники, доильные отделения, пункты искусственного осеменения | 0,3         | 0,5          |

**Т а б л и ц а I.8. Нормы температуры и влажности воздуха помещений для содержания птицы (по ОНТП 4-79)**

| Вид и возрастные группы птиц             | Расчетная температура в холодный период года. °С, при содержании |               |           | Относительная влажность, % |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------|-----------|----------------------------|
|                                          | напольном                                                        |               | клеточном |                            |
|                                          | в помещении                                                      | под брудерами |           |                            |
| <i>Взрослые птицы:</i>                   |                                                                  |               |           |                            |
| куры                                     | 16...18                                                          | —             | 16...18   | 60...70                    |
| индейки                                  | 16                                                               | —             | —         | 60...70                    |
| утки                                     | 14                                                               | —             | —         | 70...80                    |
| гуси                                     | 14                                                               | —             | —         | 70...80                    |
| цесарки                                  | 16                                                               | —             | 16        | 65...70                    |
| перепела                                 | —                                                                | —             | 20...22   | 60...70                    |
| <i>Молодые птицы:</i>                    |                                                                  |               |           |                            |
| <i>Молодняк кур</i>                      |                                                                  |               |           |                            |
| ремонтный в возрасте, нед.               |                                                                  |               |           |                            |
| 1...4                                    | 28...24                                                          | 35...22       | 33...24   | 60...70                    |
| 5...11                                   | 18...16                                                          | —             | 18        | 60...70                    |
| 12...22(26)                              | 16                                                               | —             | 16        | 60...70                    |
| <i>цыплята-бройлеры в возрасте, нед.</i> |                                                                  |               |           |                            |
| 1                                        | 28...26                                                          | 35...30       | 32...28   | 65...70                    |
| 2...3                                    | 22                                                               | 29...26       | 25...24   | 65...70                    |
| 4...6                                    | 20                                                               | —             | 20        | 65...70                    |
| 7...9                                    | 18                                                               | —             | 18        | 60...70                    |
| <i>Молодняк индеек в возрасте, нед.</i>  |                                                                  |               |           |                            |
| 1                                        | 30...28                                                          | 37...30       | 35...22   | 60...70                    |
| 2...3                                    | 28...22                                                          | 29...25       | 31...27   | 60...70                    |
| 4...5                                    | 21...19                                                          | 25...21       | 26...22   | 60...70                    |
| 6...17                                   | 20...17                                                          | —             | 21        | 60...70                    |
| 18...30(34)                              | 16                                                               | —             | 18        | 60...70                    |
| <i>Молодняк уток в возрасте, нед.</i>    |                                                                  |               |           |                            |
| 1                                        | 26...22                                                          | 35...26       | 31...24   | 65...75                    |
| 2...4                                    | 20                                                               | 25...22       | 24...20   | 65...75                    |
| 5...8                                    | 16                                                               | —             | 18        | 65...75                    |
| 9...26(28)                               | 14                                                               | —             | 14        | 65...75                    |
| <i>Молодняк гусей в возрасте, нед.</i>   |                                                                  |               |           |                            |
| 1...3(4)                                 | 26...22                                                          | 30            | 30...22   | 65...75                    |
| 4(5)...9                                 | 20...18                                                          | —             | 20...18   | 65...75                    |
| 10...39                                  | 14                                                               | —             | 14        | 70...80                    |

| Вид и возрастные группы птиц | Расчетная температура в холод-<br>ный период года, °С, при<br>содержании |                    |           | Относи-<br>тельная<br>влаж-<br>ность, % |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------|-----------------------------------------|
|                              | напольном                                                                |                    | клеточном |                                         |
|                              | в поме-<br>щенни                                                         | под бру-<br>дерами |           |                                         |

Молодняк цесарок в возрасте, нед.

|        |         |         |    |         |
|--------|---------|---------|----|---------|
| 1      | 30...25 | 32...28 | 32 | 60...65 |
| 2...3  | 22...20 | 27...25 | 27 | 65...70 |
| 4...30 | 18...16 | —       | 16 | 65...70 |

Молодняк перепелов в возрасте, нед.

|       |   |   |         |         |
|-------|---|---|---------|---------|
| 1     | — | — | 35...33 | 60...70 |
| 2...3 | — | — | 30...23 | 60...70 |
| 4...8 | — | — | 22...26 | 60...70 |

**Примечание.** В переходный период года допускается увеличение относительной влажности воздуха в помещениях для кур, индеек, цесарок, перепелов до 75 %, для утят и гусят — 85. В холодный период года допускается снижение относительной влажности воздуха для взрослых кур и индеек, а также их молодняка до 40...50 %, взрослых уток и гусей до 60 и их молодняка — до 50.

**Таблица I.9. Параметры внутреннего воздуха в основных производственных помещениях инкубаторов и яйцесклада (по ОНТП 4-79)**

| Помещения                                 | Температура, °С | Относительная влажность, % | Скорость движения, м/с | Содержание CO <sub>2</sub> , % |
|-------------------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Приема яиц                                | 15...22         | 60...70                    | 0,2                    | 0,05                           |
| Сортировки »                              | 18...22         | 60...70                    | 0,2                    | 0,05                           |
| Хранения »                                | 8...12          | 75...80                    | 0,2                    | 0,05                           |
| Дезинфекционные камеры (с формальдегидом) | 35              | 80                         | 0,6                    | 0,05                           |
| То же (с озоном)                          | 18              | 60                         | 0,6                    | 0,05                           |
| Инкубационный и выводной залы             | 20...22         | 50...70                    | 0,3                    | 0,1                            |
| Обработки молодняка                       | 24...26         | 60...65                    | 0,2                    | 0,05                           |
| Хранения »                                | 28...30         | 60...65                    | 0,5                    | 0,2                            |
| Моечная                                   | 18...22         | До 90                      | 0,3                    | 0,1                            |

### НОРМЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Строительные нормы и правила, а также государственные стандарты строго регламентируют перепад между температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции и температурой воздуха в помещении, так как он определяет интенсивность теплообмена между человеком и ограждением (табл. I.10).

На самочувствие человека существенно влияют условия, в которых находятся его голова и ноги, поэтому нормативные перепады температуры для покрытий и перекрытий ниже, чем для наружных стен.

Требуемое по санитарно-гигиеническим условиям сопротивление теплопередаче рассчитывают по формуле

$$R_0^{\text{TP}} = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) n / \Delta t^{\text{H}} \alpha_{\text{в}}, \quad (\text{I.16})$$

Таблица I.10. Нормативные температурные перепады между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждающей конструкции (по СНиП II-3-79\*)

| Здания и помещения                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $\Delta t^n$ , °C     |                                                                |                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | наруж-<br>ных<br>стен | покры-<br>тий и<br>чер-<br>дач-<br>ных<br>пере-<br>кры-<br>тий | перекры-<br>тий над<br>проезда-<br>ми, под-<br>валами и<br>подполья-<br>ми |
| 1. Здания жилые капитальные родильных домов, домов ребенка, домов-интернатов для престарелых и инвалидов; спальные корпуса общеобразовательных детских школ; здания детских садов, яслей, детских домов и детских приемников-распределителей, больничных учреждений (больниц, клиник, стационаров и госпиталей) | 6                     | 4                                                              | 2                                                                          |
| 2. Здания диспансеров и амбулаторно-поликлинических учреждений, учебные здания общеобразовательных детских школ                                                                                                                                                                                                 | 6                     | 4,5                                                            | 2,5                                                                        |
| 3. Общественные капитальные здания (кроме указанных в пп. 1,2) и вспомогательные промышленных предприятий за исключением помещений с влажным или мокрым режимом.                                                                                                                                                | 7                     | 5,5                                                            | 2,5                                                                        |
| 4. Здания производственные капитальные с сухим режимом                                                                                                                                                                                                                                                          | 10                    | 8                                                              | 2,5                                                                        |
| 5. То же, с нормальным                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 8                     | 7                                                              | 2,5                                                                        |
| 6. Производственные здания, а также помещения общественных и вспомогательных зданий промышленных предприятий с влажным или мокрым режимом, если не допускается конденсация влаги:                                                                                                                               |                       |                                                                |                                                                            |
| на внутренней поверхности стен и потолков                                                                                                                                                                                                                                                                       | $t_b - t_p$           | 0,8                                                            | 2,5                                                                        |
| на внутренней поверхности только потолков                                                                                                                                                                                                                                                                       | 7                     | $(t_b - t_p)$<br>0,9                                           | 2,5                                                                        |
| 7. Производственные здания с влажным или мокрым режимом и агрессивной средой (растворимые соли)                                                                                                                                                                                                                 | $t_b - t_p$           | $(t_b - t_p)$<br>$t_b - t_p$                                   | 2,5                                                                        |
| 8. Производственные здания со значительными избытками явного тепла (более 23 Вт/м³) и расчетной относительной влажностью внутреннего воздуха не более 50 %                                                                                                                                                      | 12                    | 12                                                             | 2,5                                                                        |

где  $t_b$  — расчетная температура внутреннего воздуха (см. табл. I.3...I.6, I.8, I.9);  $t_n$  — то же, наружного, определяемая в зависимости от тепловой инерции по СНиП 2.01.01-82;  $n$  — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху по табл. I.11;  $\Delta t^n$  — по табл. I.10;  $\alpha_b$  — по табл. I.12.

Расчетную температуру наружного воздуха  $t_n$  принимают равной средней температуре наиболее холодного периода, в течение которого завершается процесс охлаждения данной конструкции, что выражается в предельном понижении температуры ее внутренней поверхности.

Расчеты нестационарного охлаждения показывают, что для полного охлаждения конструкций малой инерционности требуется



Т а б л и ц а I.11. Значения коэффициента  $n$ , учитывающего положение наружной поверхности ограждающей конструкции (по СНиП II-3-79\*)

| Ограждающие конструкции                                                                                                                                                                                                                                 | $n$  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Наружные стены и покрытия, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными без ограждающих стенок подпольями в Северной строительной-климатической зоне                                                | 1    |
| Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов), перекрытия над холодными ограждающими стенами-подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне | 0,9  |
| Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах                                                                                                                                                                                 | 0,75 |
| То же, без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли                                                                                                                                                                                   | 0,6  |
| Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли                                                                                                                                                                | 0,4  |

Т а б л и ц а I.12. Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (по СНиП II-3-79\*)

| Поверхность                                                                                                                                                                                          | Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{в}$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при $\frac{h}{a} \leq 0,3$ (высота ребер $h$ ; $a$ — расстояние между гранями соседних ребер) капитальных жилых и общественных зданий | 8,7                                                           |
| Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$ капитальных жилых и общественных зданий                                                                                                    | 7,6                                                           |
| Стен, гладких потолков инвентарных зданий контейнерного типа                                                                                                                                         | 5,5                                                           |

около суток, а при бóльшей инерционности процесс охлаждения завершается только в течение 3...5 сут.

В соответствии с этим для расчета безынерционных конструкций при массивности конструкции  $D \leq 1,5$  принимается предельно минимальная температура воздуха в данном пункте за последние 50...80 лет. Обеспеченность этого показателя близка единице. Для расчета конструкций малой инерционности ( $1,5 < D \leq 4$ ) принимается средняя температура наиболее холодных суток; средней инерционности ( $4 < D \leq 7$ ) — наиболее холодных трех суток; бóльшей инерционности ( $D > 7$ ) — наиболее холодной пятидневки.

Для определения температуры воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки выбирают показатели за последние 30...50 лет и располагают эти данные в хронологическом и убывающем (по абсолютной величине) порядках с присвоением каждой величине порядкового номера. Температуру воздуха наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки округляют до 0,5 °С, для каждого интервала определяют средний порядковый

номер и рассчитывают обеспеченность (повторяемость) значений по формуле

$$r = 1 - [(m_{\text{ср}} - 0,3) / (M + 0,4)],$$

где  $r$  — обеспеченность (интегральная повторяемость) в долях единицы;  $m_{\text{ср}}$  — средний порядковый номер;  $M$  — число членов ряда, равное числу принятых к обработке лет наблюдений.

По данным расчета строят интегральные кривые распределения указанных данных температуры воздуха на клетчатке асимметрической частоты: по оси ординат — логарифмическая шкала температуры воздуха, по оси абсцисс — двойная логарифмическая шкала обеспеченности. Кривые строят до обеспеченности 0,25. В СНиП 2.01.01-82 приведена температура наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 и 0,98. Обеспеченность 0,98 принимают при проектировании особо ответственных объектов по согласованию с Госстроем СССР.

Среднюю температуру наиболее холодных трех суток определяют как среднее арифметическое температуры наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки (округляя до целого градуса) соответствующей обеспеченности.

Правильный учет теплоустойчивости облегченных конструкций при нормировании их теплотехнических параметров [21, 35, 45] приводит к необходимости увеличения термического сопротивления и соответственно к увеличению начальной стоимости здания. Но в процессе эксплуатации эти затраты быстро окупаются [15].

Экономически целесообразное сопротивление теплопередаче рассчитывают по формуле

$$R_0^{\text{эк}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} + \sum_{i=1}^I R_i + R_{\text{ут}}^{\text{эк}}, \quad (\text{I.17})$$

где  $\sum R_i$  — сумма термических сопротивлений конструктивных слоев многослойной ограждающей конструкции;  $R_{\text{ут}}^{\text{эк}}$  — экономически целесообразное термическое сопротивление теплоизоляционного слоя, предварительно определяемое по формуле

$$R_{\text{ут}}^{\text{эк}} = A \sqrt{\frac{n_{\text{ут}} (t_{\text{в}} - t_{\text{от.п}}) z_{\text{от.п}} k C_{\text{т}} l_{\text{т}}}{\lambda_{\text{ут}} C_{\text{ут}} E_{\text{н.п}}}}, \quad (\text{I.18})$$

где  $n_{\text{ут}}$  — коэффициент, учитывающий отношение термического сопротивления утеплителя многослойной ограждающей (однородной) конструкции к сопротивлению теплопередаче, равный 0,85;  $t_{\text{в}}$  — расчетная температура внутреннего воздуха;  $t_{\text{от.п}}$ ,  $z_{\text{от.п}}$  — соответственно средняя температура наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность, принимаемые в соответствии со СНиП 2.01.01-82;  $k$  — коэффициент, учитывающий дополнительно потери тепла на инфильтрацию наружного воздуха и принимаемый равным 1,05;  $C_{\text{т}}$  — стоимость тепловой энергии, определяемая по действующим прейскурантам;  $l_{\text{т}}$  — коэффициент, учитывающий изменение стоимости тепловой энергии на перспективу,

принимается (с учетом условий эксплуатации, сроков службы и назначения зданий) в соответствии с табл. I.10: 1,3 — для зданий, указанных в пп. 1...3; 1,2 — для зданий, указанных в пп. 4 и 5; 1,0 — зданий, указанных в пп. 6...8;  $E_{н.п}$  — норматив для приведения разновременных затрат, 1/год, принимаемый 0,08;  $A$  — переводной коэффициент, равный 60 в единицах СИ.

Значение экономически целесообразного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции выбирают из условия обеспечения наименьших приведенных затрат  $\Pi$ , руб., определенных расчетом для 1 м<sup>2</sup> ограждающих конструкций с разным сопротивлением теплопередаче  $R_0$  — по формуле

$$\Pi = C_d + \frac{(t_b - t_{от.п}) KZ_{от.п} C_T l_T}{E_{н.п} R_0}, \quad (I.19)$$

где  $C_d$  — единовременные затраты на создание 1 м<sup>2</sup> ограждающей конструкции, руб.:

$$C_d = (C_m + C_{тр}) L + C_{монт}. \quad (I.20)$$

Здесь  $C_m$  — отпускная цена 1 м<sup>2</sup> ограждающей конструкции, руб.;  $C_{тр}$  — стоимость транспортирования 1 м<sup>2</sup> ограждающей конструкции, руб.;  $L$  — коэффициент, учитывающий заготовительно-складские расходы, принимаемый по действующим нормативам;  $C_{монт}$  — стоимость монтажа (возведения) 1 м<sup>2</sup> ограждающей конструкции, руб.

Таким образом, последовательность определения экономически оптимального сопротивления теплопередаче следующая. По формулам (I.16)...(I.18) определяют  $R_{0тр}$  и  $R_{0эк}$ . Предварительная толщина теплоизоляционного слоя  $\delta_{ут} = R_{эк_{ут}} \lambda_{ут}$ . По формуле (I.20) определяют  $C_d$ , а по (I.19) — приведенные затраты  $\Pi$  для ряда вариантов ограждающей конструкции с разным сопротивлением теплопередаче. Полученные значения  $\Pi$  сопоставляют и выбирают вариант с наименьшими приведенными затратами, которому и соответствует экономически оптимальное сопротивление теплопередаче.

Стоимость обеспечения тепловой энергией при ориентации на потребление ее от энергосистем Минэнерго СССР определяют по действующему прейскуранту, а при ориентации от прочих источников теплоснабжения рассчитывают по формуле [39]

$$C_T = c_T + E_n K_T, \quad (I.21)$$

где  $c_T$  — себестоимость производства 1 Дж тепловой энергии, руб., по рассматриваемому источнику теплоснабжения;  $K_T$  — удельные капитальные вложения за год, руб., в источник теплоснабжения;  $E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений за год.

В целях оперативного повышения уровня тепловой защиты проектируемых зданий допускается упрощать экономический расчет введением к требуемому сопротивлению теплопередаче минимально повышающих коэффициентов из табл. I.13.

**Т а б л и ц а 1.13. Коэффициенты минимального повышения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций**

| Наружные ограждающие конструкции                                                                                                                          | Коэффициенты минимального повышения |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Стены:</b>                                                                                                                                             |                                     |
| из кирпича, однослойных легкобетонных панелей, местных материалов                                                                                         | 1,1                                 |
| из однослойных панелей и ячеистого бетона                                                                                                                 | 1,3                                 |
| из трехслойных железобетонных панелей с ребрами из керамзитобетона                                                                                        | 1,3                                 |
| то же, с гибкими связями жилых и общественных зданий                                                                                                      | 1,5                                 |
| то же, производственных, сельскохозяйственных (кроме птицеводческих и животноводческих) и складских зданий                                                | 1,7                                 |
| из многослойных панелей на основе древесины и эффективным утеплителем жилых многоэтажных зданий                                                           | 2                                   |
| то же, малоэтажных                                                                                                                                        | 1,5                                 |
| из металлических панелей типа «сэндвич» общественных, производственных, сельскохозяйственных (кроме птицеводческих и животноводческих) и складских зданий | 2                                   |
| то же, при полистовой сборке с утеплителем из минеральной ваты                                                                                            | 1,5                                 |
| <b>Покрытия:</b>                                                                                                                                          |                                     |
| жилых малоэтажных зданий                                                                                                                                  | 1,3                                 |
| общественных и производственных зданий по железобетонным плитам с утеплителем из легких и ячеистых бетонов, насыпным утеплителем                          | 1,3                                 |
| то же, с утеплителем из минеральной ваты                                                                                                                  | 1,5                                 |
| по профилированному металлическому настилу с утеплителем из пенополистирола                                                                               | 2                                   |
| то же, с утеплителем из минеральной ваты                                                                                                                  | 1,5                                 |

### **НОРМИРОВАНИЕ ВОЗДУХО- И ПАРОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ СТЫКОВ**

Требуемое сопротивление воздухопроницанию ограждений (за исключением заполнений световых проемов) определяют по формуле

$$R_n^{тр} = \Delta P / G^n, \quad (1.22)$$

где  $G^n$  — нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций и их стыков, установленная СНиП II-3-79\*, кг/(м<sup>2</sup>·ч); для наружных стен перекрытий и покрытий жилых и общественных зданий, а также вспомогательных зданий и помещений промышленных предприятий — 0,5; для наружных стен перекрытий и покрытий производственных зданий — 1; для входных дверей в квартиры — 1,5; для стыков между панелями наружных стен жилых зданий — не более 0,5;  $\Delta P$  — разность значений давления воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па, вычисляемая по формуле

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_n - \gamma_v) + 0,03\gamma_v v^2, \quad (1.23)$$

где  $H$  — высота здания (от поверхности земли до вертикального карниза), м;  $\gamma_v$ ,  $\gamma_n$  — соответственно плотность внутреннего и на-

ружного воздуха, Н/м<sup>3</sup>, определяемые по формуле  $\gamma = \frac{3463}{273 + t}$ ;  $t$  — расчетная температура воздуха (внутреннего — см. табл. I.3...I.6 1.8, 1.9, наружного — средней температуры наиболее холодной пятидневки);  $v$  — максимальная из средней скорости ветра по румбам за январь, повторяемость которой 16 % и более; для типовых проектов скорость ветра следует принимать 5 м/с, а в климатических подрайонах IБ и IГ — 8.

Требуемое сопротивление воздухопроницанию окон и балконных дверей жилых и общественных зданий определяют по формуле

$$R_n^{тр} = (\Delta P)^{2/3} / G^n, \quad (I.24)$$

где  $G^n = 10$  кг/(м<sup>2</sup>·ч), а для окон и фонарей производственных зданий принимают по табл. I.14.

Таблица I.14. Требуемое сопротивление воздухопроницанию заполнений световых проемов (по СНиП II-3-79\*)

| Производственные здания | $R_n^{тр}, \text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}^{2/3} / \text{кг}$ |          |                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------|
|                         | окон                                                                    | фонарей  |                                                       |
|                         |                                                                         | зенитных | светоаэрационных<br>Π-образных (в закрытом положении) |

Со значительным избытком явного тепла  
(более 23 Вт/м<sup>3</sup>)

0,5

—

0,055

С незначительным избытком явного тепла  
(23 Вт/м<sup>3</sup>)

1,15

1,6

0,11

С кондиционированием воздуха

1,6

1,6

—

Требуемое сопротивление паропроницанию ограждающих конструкций и их стыков должно быть не меньше значения

$$R_{п1}^{тр} = \frac{(e_v - E) R_{пн}}{E - e_n}, \quad (I.25)$$

установленного из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации и

$$R_{п2}^{тр} = \frac{2,4z_0 (e_v - E_n)}{A\gamma_w \delta_w \Delta w_{ср} + \varepsilon}, \quad (I.26)$$

определенного из условия ограничения накопления влаги в ограждении за период с отрицательной температурой наружного воздуха.

В формулах (1.25), (1.26) приняты следующие обозначения:  $e_v$ ,  $e_n$  — соответственно парциальные давления водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;  $E$  — парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации, определяемое по формуле

$$E = \frac{1}{12} (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3),$$

где  $z_1, z_2, z_3$  — продолжительность, мес, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, определяемая согласно СНиП 2.01.01-82 (к зимнему периоду относятся месяцы со средними температурами наружного воздуха ниже  $-5^\circ\text{C}$ ; к весенне-осеннему — месяцы со средней температурой наружного воздуха от  $-5$  до  $+5^\circ\text{C}$ ; к летнему — месяцы со средней температурой наружного воздуха выше  $+5^\circ\text{C}$ );  $E_1, E_2, E_3$  — парциальные давления водяного пара, Па, принимаемые по температуре в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов;  $R_{\text{пн}}$  — сопротивление паропрооницанию,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между ее наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации;  $z_0$  — продолжительность, сут, периода влагонакопления, принимаемая равной периоду с отрицательной среднемесячной температурой наружного воздуха согласно СНиП 2.01.01-82;  $E_0$  — парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации, определяемое при средней температуре наружного воздуха периода с отрицательной среднемесячной температурой;  $\gamma_w$  — плотность материала увлажненного слоя,  $\text{кг} / \text{м}^3$ ;  $\delta_w$  — толщина увлажняемого слоя ограждающей конструкции, м, принимаемая равной  $2/3$  толщины однородной однослойной стены или толщине утеплителя многослойной ограждающей конструкции;  $\Delta w_{\text{ср}}$  — предельно допустимое приращение расчетного массового влагосодержания в материале (приведенного в прил. 3 к СНиП II-3-79\*) увлажняемого слоя, %, за период влагонакопления  $z_0$ , ориентировочно принимаемое по табл. I.15.

Т а б л и ц а I.15. Предельно допустимое приращение массового влагосодержания материалов (по СНиП II-3-79\*)

| Материал ограждения                               | $\Delta w_{\text{ср}}, \%$ |
|---------------------------------------------------|----------------------------|
| Кладка из глиняного кирпича и керамических блоков | 1,5                        |
| Кладка из силикатного кирпича                     | 2                          |
| Легкие бетоны на пористых заполнителях            | 5                          |
| Ячеистые бетоны                                   | 6                          |
| Пеногазостекло                                    | 1,5                        |
| Фибролит цементный                                | 7,5                        |
| Минераловатные плиты и маты                       | 3                          |
| Пенополистирол и пенополиуретан                   | 25                         |
| Теплоизоляционные засыпки из керамзита, шлака     | 3                          |
| Тяжелые бетоны                                    | 2                          |

Коэффициент  $\varepsilon$  определяют по формуле

$$\varepsilon = 2,4 (E_0 - e_{\text{н.о}}) z_0 / R_{\text{п.н}}, \quad (\text{I.27})$$

где  $e_{\text{н.о}}$  — среднее значение парциального давления водяного пара наружного воздуха, Па, периода с отрицательной среднемесячной температурой, определяемое по СНиП 2.01.01-82.

В формулах (I.26) и (I.27) 2,4 — переводной коэффициент размерностей, в формуле (I.26) коэффициент  $A=1000$  (в единицах СИ). При определении  $E_1, E_2, E_3, E_0$  для помещений с агрессивной средой парциальное давление следует определять с учетом ее агрессивности. При определении  $E_3$  температуру в плоскости возможной конденсации во всех случаях следует принимать не ниже средней температуры наружного воздуха летнего периода, а парциальное давление  $e_v$  — не ниже парциального давления водяного пара наружного воздуха за этот период.

### **НАДЕЖНОСТЬ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Надежность* — это свойство объекта (здания, ограждающей конструкции) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих режимам и условиям эксплуатации, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Это комплексное свойство, которое, в зависимости от назначения и условий эксплуатации объекта, включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость как здания в целом, так и его частей. **Безотказность** — свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. **Долговечность** — свойство сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. **Ремонтпригодность** — приспособленность объекта к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их путем проведения ремонтов и технического обслуживания. **Сохраняемость** — свойство объекта непрерывно сохранять исправное (при котором объект соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией) и работоспособное состояние при хранении и транспортировании и после них.

При неисправном состоянии объект не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической документацией. В работоспособном состоянии объект выполняет свои функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. **Отказ** заключается в нарушении работоспособности объекта. **Повреждение** — нарушение исправности объекта или его составных частей вследствие влияния внешних воздействий, превышающих уровни, установленные в нормативно-технической документации на объект. Может быть незначительным и значительным. Первое означает нарушение исправности при сохранении работоспособности, второе — отказ (систематический, полный или частичный). Некоторые отказы объектов не связаны с их повреждениями. Те, причина которых в нарушении установленных правил и норм эксплуатации, при оценке надежности объекта не

учитывают. Отказом ограждающих конструкций считают разрушение их материала (конструктивного или теплоизоляционного), отрыв утеплителя от металлических обшивок (трехслойные панели типа «сэндвич»), недопустимое повышение теплопроводности утеплителя.

Интенсивность разрушения (деструкции) материалов при эксплуатации ограждающих конструкций оценивают испытаниями их на стойкость к климатическим воздействиям (морозостойкость, стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям).

Стойкость материалов к климатическим воздействиям — сохранение прочностных и теплоизоляционных свойств при их увлажнении, высушивании и воздействии положительной и отрицательной температур, ультрафиолетового излучения в течение определенного периода времени.

Восстанавливаемый — это такой объект, работоспособность которого при отказе подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации. Невосстанавливаемый — объект, работоспособность которого при отказе не подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации. Ремонтируемый — исправность и работоспособность которого при отказе не подлежат восстановлению. Термин «невосстанавливаемый объект» и «восстанавливаемый объект» не заменяют понятий «неремонтируемый» и «ремонтируемый объект», так как последние характеризуют свойства объектов (их приспособленность к проведению ремонтов и технического обслуживания), а первые относятся к условиям восстановления работоспособности объектов в конкретной ситуации в процессе эксплуатации. Все ограждения и системы инженерных устройств в зданиях — восстанавливаемые объекты. Но в ряде случаев некоторые ограждающие конструкции, устройства и даже здания в целом по технико-экономическим соображениям рассматривают как невосстанавливаемые объекты. К ним иногда относят объекты со скрытым размещением элементов, слоистые конструкции, в которых хотя бы некоторые элементы (утеплитель, ребра жесткости) не поддаются осмотру без разрушения самого объекта, а также мобильные (инвентарные) здания, которые после нормативного срока службы используют как вторичное сырье.

Показатель надежности количественно характеризует свойства, обуславливающие степень надежности конкретного объекта. Он может иметь размерность, например, наработка на отказ (отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки), или не иметь размерности, например, вероятность безотказной работы (вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не произойдет).

Единичный показатель надежности характеризует только одно из свойств, составляющих надежность объекта. Комплексный показатель надежности — относится к нескольким свойствам, составляющим надежность объекта.



На стадии проектирования расчет надежности осуществляют в виде вероятностных расчетов. Статистические оценки показателей ее по результатам испытаний в лабораторных или натурных условиях сводят к аналогичным вероятностным показателям. Пока нет достаточного количества экспериментальных данных, позволяющих провести вероятностную оценку надежности теплозащиты зданий при проектировании. Поэтому осуществляют качественную оценку единичных показателей надежности: долговечности и безотказности.

## **II. ВЫБОР ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

---

### **КЛАССИФИКАЦИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Материалы малой теплопроводности и плотности относятся к теплоизоляционным и предназначены для защиты жилых, общественных, производственных зданий, а также сооружений и тепловых агрегатов от потерь тепла. Теплоизоляционные материалы классифицируют в соответствии с ГОСТ 16381—77.

По форме и внешнему виду их подразделяют на штучные изделия (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, сегменты), рулонные и шнуровые (маты, шнуры, жгуты), рыхлые и сыпучие материалы (вата минеральная, стеклянная, вспученные перлит, вермикулит). По структуре строения материалы подразделяют на волокнистые, ячеистые и зернистые.

По виду исходного сырья материалы подразделяют на неорганические (асбест, шлаки, стекло, кремнезем, перлит, вермикулит и другие вещества минерального происхождения) и органические, состоящие из растительных и животных волокон или пластмасс (древесноволокнистые, пробковые, пенопласты).

Смеси материалов относятся к неорганическим, если количество последних в смеси превышает 50 % по массе.

По плотности материалы подразделяют на группы и марки, кг/м<sup>3</sup>: особо низкой плотности (ОНП) — 25; 35; 50; 75, низкой плотности (НП) — 100; 125; 150; 175, средней плотности (СП) — 200; 225; 250; 300; 350, плотные (Пл) — 400; 450; 500; 600.

По жесткости теплоизоляционные изделия подразделяют на мягкие (М) — относительное сжатие при удельной нагрузке 0,002 МПа более 30 %, полужесткие (П) — относительное сжатие при удельной нагрузке 0,002 МПа от 6 до 30, жесткие (Ж) — относительное сжатие при удельной нагрузке 0,002 МПа до 6, повышенной жесткости (ПЖ) — относительное сжатие при удельной нагрузке 0,04 МПа до 10 и твердые (Т) — относительное сжатие при удельной нагрузке 0,1 МПа до 10 %.

По теплопроводности материалы и изделия подразделяют на классы: А — низкой (до 0,06 Вт/м·К), Б — средней (0,06...0,115), В — повышенной (свыше 0,115...0,175). По возгораемости — на негорючие, трудногорючие и горючие.

Применение теплоизоляционных материалов дает возможность уменьшить толщину ограждений, массу сооружений, расход строительных материалов.

Номенклатура основных теплоизоляционных материалов и изделий:

**1. Неорганические теплоизоляционные материалы.** *Штучные изделия* волокнистые и ячеистые предназначены для утепления, главным образом, ограждающих конструкций и сооружений (трехслойные наружные стеновые панели с различными обшивками, плиты перекрытий, кровли). Волокнистые плиты: минераловатные на синтетическом и битумном связующем, из стеклянного волокна на синтетическом связующем. Ячеистые плиты: совелитовые, вулканитовые, известково-кремнеземистые, асбестовермикулитовые, перлитобетонные, перлитокерамические, перлитобитумные, перлитофосфогелевые, пенодиатомитовые и диатомитовые, ячеистые бетоны и пеностекло.

*Рулонные материалы волокнистые* применяют для тепловой изоляции строительных конструкций промышленного оборудования и трубопроводов при различной температуре (в зависимости от природы материала). К ним относятся: маты минераловатные и из стеклянного волокна на синтетическом связующем; маты в рулоне, получаемые из стеклянного волокна ЦФД, холсты из ультрасупертонкого стеклянного или базальтового волокна; маты минераловатные с прошивкой и обкладкой различными материалами с одной стороны и двух сторон, а также без обкладок; маты минераловатные вертикальнослоистые с различными покровными материалами.

*Шнуровые материалы волокнистые* применяют для тепловой изоляции трубопроводов. К ним относятся: шнур теплоизоляционный из минеральной ваты, получаемый оплетением металлической проволокой или другими обвязочными материалами, жгут стеклянный, шнур асбестовый, асбопущшнур и асбестомagneзиальный.

*Рыхлые и сыпучие материалы* применяют для засыпки ограждающих конструкций с различными обшивками преимущественно временных сооружений, утепления кровли, а также оборудования с различными связующими материалами. К ним относятся: вата минеральная, стеклянная, из штапельного супертонкого стекловолокна каолинового состава.

*Зернистые материалы* применяют для тех же целей, что и рыхлые или сыпучие. К ним относятся: совелит, перлит, вермикулит, порошок асбестомagneзиальный (ньювель), асбозурит, крошка диатомитовая (трепельная).

**2. Органические теплоизоляционные материалы.** Применяют для тепловой изоляции строительных конструкций, холодильного оборудования, небольших поверхностей (мостиков холода) при защите их от увлажнения и возгорания. Делятся на волокнистые и ячеистые.

*Волокнистые:* плиты изоляционные древесноволокнистые и цементно-фибритовые, изделия торфяные и пробковые.

*Ячеистые изделия* из газонаполненных пластмасс (пенопласты). По виду применяемых синтетических смол и полимеров подразделяются на: полистирольные, изготавливаемые из вспенивающегося полистирола (с добавкой или без); фенольные — из резольных или наволочных фенолформальдегидных смол и фенолоспиртов; полиуретановые, получаемые из полиэфиров и полиизоцианатов с добавкой антипирена; поливинилхлоридные — из поливинилхлоридных смол; карбамидные, изготавливаемые из мочевино-формальдегидных смол.

## НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Минеральная вата** (ГОСТ 4640—84) — высокопористый материал, состоящий из тонких и гибких стекловидных волокон диаметром 7...15 мкм. Может содержать стекловидные, не вытянувшиеся в волокна включения в форме шариков размером до 3 мм, которые ухудшают ее свойства, увеличивая плотность и теплопроводность. Сырьем для ее производства служат диабазы, базальты, известняки, а также другие силикатные материалы и отходы промышленности, например, доменный и топливный шлаки, сланцевый кокс, керамический бой. Неограниченные сырьевые ресурсы, простота технического процесса и небольшие капиталовложения для изготовления изделий из минеральной ваты определяют значительный рост производства этого материала. Основным сырьем для производства минеральной ваты служат доменные шлаки (ГОСТ 18866—81). Использование отходов черной металлургии для этой цели дает наибольший экономический эффект. Однако состав металлургических шлаков не постоянен и требует тщательного химического контроля и корректировок путем введения добавок в зависимости от расчетов по составу шихты.

Из минеральной ваты изготавливают войлок, маты, плиты, скорлупы, сегменты, а также минераловатную смесь для мастичной теплоизоляции. Использование минеральной ваты в качестве самостоятельного теплоизоляционного материала в большинстве случаев нецелесообразно. Укладка ее в конструкции неиндустриальна, приводит к снижению производительности труда, а также к снижению долговечности, так как она подвергается самоуплотнению и усадке. Применять минеральную вату можно только в специально обоснованных проектом случаях, например, для утепления временных зданий и сооружений. Изделия получают, склеивая волокна ваты связующими веществами — нефтяными битумами или синтетической смолой. Технология их производства состоит из смешивания минерального волокна со связующим, формовки (обычно конвейерным способом) и тепловой обработки для закрепления связующего на волокнах минеральной ваты. В качестве синтетических связующих применяют фенолоспирты, карбамидные смолы, а также сложные составы на основе фенолоспиртов или карбамидных смол, пластифицированных поливинилацетатной эмульсией, латексом. Минераловатные изделия с содержанием свя-

зующего до 6 % по массе относятся, согласно СНиП II-A. 5-70\*, к негорячим, а при содержании связующего 7...15 % — трудногорячим.

#### Физико-технические показатели

|                                                                                                         |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Плотность и марка, кг/м <sup>3</sup> . . . . .                                                          | 75, 100, 125 |
| Теплопроводность Вт/(м·К) при <i>t</i>                                                                  |              |
| (25±5) °С . . . . .                                                                                     | ≤0,045       |
| (125±5) °С . . . . .                                                                                    | ≤0,064       |
| (300±5) °С . . . . .                                                                                    | ≤0,105       |
| Влажность, % по массе . . . . .                                                                         | ≤2           |
| Содержание органических добавок, % . . . . .                                                            | ≤2           |
| То же неволоконистых включений («корольков») размером более 0,25 мм, % не более, для категории качества |              |
| первой . . . . .                                                                                        | 12...25      |
| высшей . . . . .                                                                                        | 10...20      |
| Средний диаметр волокон, мкм, не более . . . . .                                                        | 6...8        |
| Содержание серы, %, не более . . . . .                                                                  | 1            |
| Содержание волокон диаметром более 15 мкм, %, не менее . . . . .                                        | 5...7        |
| Температуроустойчивость, °С, для категории качества                                                     |              |
| первой . . . . .                                                                                        | ≥600         |
| высшей . . . . .                                                                                        | ≥700         |

Максимальная гигроскопическая влажность минераловатных плит, определяемая при относительной влажности воздуха (98±±2) %, сравнительно невелика (0,5; 1,5; 3,5 % за 100 сут в зависимости от способа формования — из гидромассы, прессового полусухого, конвейерного полусухого формования) и мало изменяется во времени. Коэффициент паропроницаемости минераловатных плит 0,3...0,6 мг/(м·ч·Па).

Влагостойкость минераловатных изделий (по ГОСТ 9573—82) достигает трех суток. Однако снизить их водопоглощение можно путем гидрофобизации в процессе изготовления кремнийорганическими жидкостями и их эмульсиями, различными маслами, битумными эмульсиями. Гидрофобизация изделий уменьшает их гигроскопичность и повышает водостойкость. При этом количество гидрофобизатора должно быть не больше 1,5 % от массы минеральной ваты. Таким образом, изделия из минеральной ваты отличаются малой теплопроводностью, сравнительно малой плотностью и низкой сорбционной влажностью. Они не горят, не гниют, малогигроскопичны, морозоустойчивы и не портятся грызунами. Стены и перекрытия, утепленные минераловатными изделиями, в два-три раза легче обычных. Изделия из минеральной ваты можно применять для теплоизоляции как холодных, так и горячих поверхностей с температурой до 600 °С. Их используют для укрепления стен, в частности холодильников, элементов ограждающих конструкций в сборных домах заводского изготовления; для звукоизоляции помещений путем покрытия внутренних поверхностей стен и потолков, тепловой изоляции трубопроводов горячей воды, пара, воздуха и газов. Для изоляции горячих поверхностей трубопроводов и аппаратов применяют минераловатные маты с проволоочной сеткой.

Маты минераловатные рулонированные на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—82) применяют для тепловой изоляции

строительных конструкций, промышленного оборудования при температуре их поверхности до 400 °С. По плотности маты подразделяются на марки 50 и 75, теплопроводность их при температуре (25±5) °С 0,044...0,046 Вт/(м·К). Структура матов горизонтально-слоистая. При содержании связующего от 2 до 4 % по массе, предел прочности при разрыве вдоль волокон не меньше 0,008 МПа. Маты изготовляют в виде полотнищ длиной 2000...5000, шириной 500...1000 и толщиной 70...100 мм.

*Маты минераловатные прошивные* (ГОСТ 21880—76) — полотнища горизонтально-слоистой структуры из минеральной ваты с обкладками с одной или двух сторон из различных материалов, а также без обкладок. В зависимости от материала обкладки маты подразделяют на четыре типа: 1М — без обкладок; 2М — с обкладкой из металлической сетки, асбестовой ткани АТ-7 или АТ-1, стеклоткани или стеклосетки, стекловолоконного холста; 3М — с обкладками из гофрированного коробчатого или кровельного картона, мешочной водонепроницаемой бумаги; 4М — с обкладками из упаковочной битумной или покрытой полиэтиленом бумаги.

Допускаемая температура применения при непосредственном контакте с изолируемой поверхностью составляет для матов, °С:

|                                                                                                              |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Без обкладок . . . . .                                                                                       | .600 |
| С обкладками из металлических сеток . . . . .                                                                | .600 |
| То же, из стеклоткани или стеклосетки . . . . .                                                              | .450 |
| » из асбестовой ткани:                                                                                       |      |
| АТ-7 . . . . .                                                                                               | .450 |
| АТ-1 . . . . .                                                                                               | .250 |
| » из стекловолоконного холста, гофрированного коробчатого или кровельного картона, мешочной бумаги . . . . . | .150 |
| » из упаковочной битумной или покрытой полиэтиленом бумаги, дражной упаковки . . . . .                       | 60   |

Маты применяют для тепловой изоляции каркасных стен, перегородок, промышленного оборудования и трубопроводов. В зависимости от плотности их подразделяют на марки (75, 100, 125 и 150), теплопроводность не более 0,044...0,049 Вт/(м·К), влажность по массе не более 2 %. Содержание органических веществ по массе не более 3 %.

Размеры матов, мм: длина 1000...2500 с интервалом 250 мм; ширина 500; 1000; 1500; 2000 и 2500; толщина 40...120 с интервалом 10 мм. В качестве прошивочного материала используют стальную оцинкованную и неоцинкованную низкоуглеродистую отожженную проволоку диаметром 0,5...1 мм, стеклянные, крученые и льняные прошивочные нити, крученые льнопеньковые шнуры, стекложгут, шпагат из лубяных волокон, капроновую нить.

*Маты минераловатные вертикально-слоистые* (ГОСТ 23307—78) — полотнища, состоящие из полос, нарезанных из минераловатных плит и наклеенных на защитно-покровный материал в положении, при котором слои минеральной ваты располагаются перпендикулярно защитно-покровному материалу. В зависимости от плотности маты подразделяются на марки: 75 и 100. Теплопроводность при средней температуре (25±5) °С составляет 0,047...0,053

Вт/(м·К). Влажность по массе более 1 %. Размеры матов даны в табл. II.1.

Т а б л и ц а II.1. Размеры матов, мм

| Марка  | Длина           | Ширина              | Толщина (с интервалом 10) |
|--------|-----------------|---------------------|---------------------------|
| 50; 75 | 1000            | 500; 1000           | 60...100                  |
| 125    | 1000            | 500; 1000           | 50...80                   |
| 175    | 1000            | 500; 1000           | 40...70                   |
| 200    | 1000            | 500; 1000           | 40...60                   |
| 300    | 900; 1800; 1200 | 450; 600; 900; 1800 | 20...40                   |

Теплоизоляционные вертикально-слоистые маты применяют для тепловой изоляции трубопроводов, различных сооружений при температуре изолируемых поверхностей — 120...+300 °С.

Плиты минераловатные на синтетическом связующем (ГОСТ 9473—82) изготавливают из минеральной ваты (ГОСТ 4640—70) и синтетического связующего (преимущественно фенолоспиртов) с модифицированными добавками или без них. Марки плит в зависимости от плотности: 50, 75, 125, 175, 200, 300; основные характеристики даны в табл. II.2. Плиты используют для тепловой изоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов с температурой поверхности до 400 °С (марки 50...175) и до 100 °С (марки 200 и 300). Плиты марок 200 и 300 выпускают гидрофобизированными. Размеры плит те же, что и матов минера-

Т а б л и ц а II.2. Физико-механические характеристики плит

| Показатели                                                    | Значения показателей для плит марок |         |          |           |           |           |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                                                               | 50                                  | 75      | 125      | 175       | 200       | 300       |
| Плотность, кг/м³                                              | 35...50                             | 50...75 | 75...125 | 125...175 | 175...200 | 200...300 |
| Теплопроводность<br>Вт/(м·К) при (25±5) °С<br>для плит        |                                     |         |          |           |           |           |
| высшей категории                                              | 0,044                               | 0,044   | 0,047    | 0,05      | 0,053     | 0,058     |
| I категории                                                   | 0,047                               | 0,047   | 0,049    | 0,052     | 0,056     | 0,06      |
| Влажность, % по массе,<br>не более                            | 1                                   | 1       | 1        | 1         | 1         | 1         |
| Содержание связующего<br>вещества, % по массе                 | 1,5...3                             | 2...3   | 2,5...4  | 3,5...5   | 5...7     | 6...8     |
| Прочность на сжатие<br>при 10 % деформации,<br>МПа, не менее  | —                                   | —       | —        | —         | 0,04      | 0,12      |
| Предел прочности при<br>растяжении, МПа, не<br>менее для плит |                                     |         |          |           |           |           |
| высшей категории                                              | 0,01                                | 0,01    | —        | —         | —         | —         |
| I категории                                                   | 0,008                               | 0,008   | —        | —         | —         | —         |
| Предел прочности при<br>изгибе, МПа, не менее                 | —                                   | —       | —        | —         | 0,2       | 0,4       |
| Водопоглощение, %, не<br>более                                |                                     |         |          |           | 30        | 20        |

ловатных (см. табл. II.1). Плиты горизонтально-слоистой структуры и легко расслаиваются, что необходимо учитывать при проектировании.

*Плиты минераловатные повышенной жесткости на синтетическом связующем* (ГОСТ 22950—78) изготавливают из минеральной ваты и синтетических связующих с модифицирующими и гидрофобизирующими добавками по технологии мокрого формования гидромассы или пульпы. В качестве синтетического связующего применяют фенолопласты марки Б, нейтрализованные серноокислым аммонием с добавкой аммиачной воды, а в качестве гидрофобизаторов применяют эмульсии КЭ-30-04 (50 %) на основе ГКЖ-94, битумы нефтяные дорожные, кровельные марки БНК-45/180 или строительные марки БН 70/30. По плотности плиты выпускают марки 200. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  составляет 0,051 Вт/(м·К). Содержание связующего вещества по массе не более 10 %. Плотность на сжатие при 10 % деформации 0,1 МПа, водопоглощение по массе 10...40 % и влажность по массе не больше 1.

Размеры плит, мм: длина — 1000, ширина — 500 и толщина — 40, 50 и 60. Это труднообрабатываемые материалы, предназначенные для тепловой изоляции строительных конструкций, в том числе стеновых панелей, перекрытий и покрытий, выполненных из профилированного настила или железобетона без устройства стяжки и выравнивающего слоя.

*Цилиндры и полуцилиндры минераловатные на синтетическом связующем* (ГОСТ 23208—83) предназначены для тепловой изоляции трубопроводов при температуре изолируемой поверхности  $-180...+400^\circ\text{C}$ . По плотности изделия подразделяют на марки 100, 150 и 200. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  соответствует 0,048...0,052 Вт/(м·К). Предел прочности при растяжении 0,015...0,025 МПа. Содержание синтетического связующего не более 5 % и влажность по массе не более 1. Размеры изделий, мм: длина 500 с внутренним диаметром 18, 25, 32, 38 и 45 и длина 1000 с внутренним диаметром 57, 76, 89, 108, 114, 133, 159, 219 при толщине 40, 50, 60, 70, 80.

*Минераловатные плиты на битумном связующем* (ГОСТ 10140—80) выпускают трех видов: мягкие, полужесткие и жесткие.

Плиты мягкие и полужесткие применяют для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей не выше  $60^\circ\text{C}$ . Применять мягкие плиты можно для изоляции конструкций, оборудования и трубопроводов, находящихся вне помещений, за исключением объектов опасных в пожарном отношении, при температуре изолируемых поверхностей до  $200^\circ\text{C}$ .

Плиты жесткие применяют для тепловой изоляции строительных конструкций, технологического оборудования и трубопроводов, в частности промышленных холодильников при температуре изолируемых поверхностей  $-100...+70^\circ\text{C}$ . По плотности мягкие плиты выпускают марок 75 и 100, полужесткие — 150 и 200, и жест-

кие — 250. Теплопроводность мягких плит 0,044...0,046 Вт/(м·К), полужестких — 0,049...0,59, жестких — 0,058...0,064. Плиты изготавливают мокрым прерывным способом, формуют их вакуум-прессованием из гидромассы.

Размеры плит, м, в зависимости от марки:

| Марка<br>плиты | Длина            | Ширина    | Толщина<br>с интервалом 10 |
|----------------|------------------|-----------|----------------------------|
| 75; 100        | 1000; 1500; 2000 | 500; 1000 | 50...100                   |
| 150; 200       | 1000; 1500       | 500; 100  | 50...100                   |
| 250            | 1000             | 500       | 40...70                    |

Предел прочности на растяжение при изгибе для плит марки 200 не менее 0,14 МПа, марки 250 — не менее 0,18.

*Маты теплоизоляционные минераловатные вертикально-слоистые* (ГОСТ 23307—78) изготавливают из полос, нарезанных из готовых минераловатных плит мягких и полужестких на синтетических связующих, соответствующих ГОСТ 9573—82 и наклеенных при вертикальном положении волокон на покровные материалы. В зависимости от покровного слоя они делятся на маты дублированные стеклянкой сеткой марки Т с обкладкой из алюминиевой фольги, стеклопластика, фольгоизола, фольгокартона и фольгорубероида. По плотности маты выпускают марок 75 и 100. Теплопроводность 0,047 и 0,053 Вт/(м·К). Влажность теплоизоляционного слоя матов по массе должна быть не более 1 %, а сжимаемость его под удельной нагрузкой 0,002 МПа не более 4...5 % для I категории качества и 2...3 для высшей категории. Размеры матов, мм: длина 600...6000, ширина 750...1260, толщина 40...100 с интервалом 10, ширина минераловатной полосы 60...100, а продольной кромки 40. Маты применяют для теплоизоляции строительных конструкций, оборудования и трубопроводов.

*Плиты минераловатные повышенной жесткости с вертикально ориентированными волокнами* (ТУ 550.2.104-79) изготавливают из минераловатных плит ПП и ПЖ на синтетическом связующем (с модифицирующими добавками и без них), приклеенных к пергамина, рубероида или стеклорубероида водонепроницаемыми составами с одной (тип I) или двух (тип II) сторон. Они предназначены для тепловой изоляции ограждающих строительных конструкций, а также в качестве изоляционного основания при устройстве рулонных кровель. Размеры плит, мм: длина 1000; ширина 500; 1000 и толщина 40; 50; 60.

Плотность плит 125, 150 и 200 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при средней температуре (25±5) °С соответственно: 0,055 и 0,065 Вт/(м·К), прочность на сжатие (при 10 %-ной линейной деформации) соответственно: 0,025...0,03; 0,04...0,05 и 0,055...0,06 МПа; адгезия к пергамина не менее 0,03 МПа. Влажность изделий не должна превышать 1 % по массе исходных плит.

*Войлок эластичный из минеральной ваты* (ТУ 36-2111-78) изготавливают из минеральной ваты на синтетическом связующем с пластифицирующими добавками в виде мата, свернутого в рулон, марок 50 и 75.



Размеры войлока, мм:

|                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| Длина . . . . .   | 200; 3000; 4000           |
| Ширина . . . . .  | 500; 1000                 |
| Толщина . . . . . | 40...100 с интервалом 10. |

Теплопроводность войлока при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  не более  $0,044...0,046$  Вт/(м·К). После снятия удельной нагрузки  $0,002$  МПа упругое сжатие (коэффициент возвратимости)  $0,95$ , а предел прочности на разрыв не менее  $0,004$  МПа, влажность войлока по массе не более  $1\%$ . Войлок предназначен для тепловой изоляции промышленных объектов при температуре изолируемых поверхностей —  $180...600^\circ\text{C}$ .

*Маты прошивные из эластичного минераловатного войлока* (ТУ 36-2112-78) с обкладками с одной или двух сторон. В зависимости от плотности подразделяются на марки: 75 и 100. Размеры матов, мм: длина 1000, 2000, 3000, 4000; ширина 1000 и толщина 50...100 (с интервалом 10 мм). Теплопроводность без учета обкладок при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  —  $0,044...0,046$  Вт/(м·К). Влажность по массе не более  $1\%$  и содержание органических веществ по массе не более  $1,5\%$ .

Маты прошивают сплошными швами в продольном направлении. Предназначены для тепловой изоляции различных поверхностей при температуре —  $180...600^\circ\text{C}$  (в зависимости от применяемой обкладки).

*Минеральная вата фильерная ВФ* (ТУ 21-24-60-73) изготавливается из расплава мергеля и известняка. Плотность ее 75 и 125. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  —  $0,035...0,037$  Вт/(м·К). Ширина ковра 1000 мм. Масса рулона 8 кг. Влажность не более  $1\%$  и содержание органических добавок не более  $1\%$ . Вату используют для изготовления изделий, а также в качестве теплозвукоизоляционного материала в строительстве при температуре изолируемой поверхности до  $+700^\circ\text{C}$ .

*Плиты минераловатные фильерные ВФ-75* (ТУ 21-24-52-73) изготавливают путем пропитки минеральной ваты ВФ-75 раствором синтетического связующего с последующей термообработкой. Плиты в зависимости от сжимаемости под удельной нагрузкой  $0,002$  МПа делятся на мягкие ПМ и полужесткие ПП, а в зависимости от плотности — на марки: плиты мягкие 30; 40; 50 и плиты полужесткие 80; 100. Теплопроводность плит средней температуры  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  —  $0,042...0,047$  Вт/(м·К). Сжимаемость под удельной нагрузкой  $0,002$  МПа для мягких плит не более  $20\%$ , а для полужестких 10 и 15. Предел прочности при разрыве вдоль волокон не менее  $0,005$  и  $0,008$  МПа. Влажность изделий не должна превышать  $1\%$  по массе.

Размеры плит, мм:

|                   |                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| Длина . . . . .   | 500, 1000                                                 |
| Ширина . . . . .  | 500                                                       |
| Толщина . . . . . | 50, 60, 70, 80 (мягких)<br>и 30, 35, 45, 50 (полужестких) |

Предназначены для теплозвукоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования, трубопроводов и холодильных установок при температуре изолируемых поверхностей  $-40\ldots +300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Маты прошивные из минеральной ваты на металлической основе ВФ-75 (ТУ 24-51-73)* простегивают хлопчатобумажной пряжей. Расстояние крайних швов от продольной кромки должно быть, мм не более 50, расстояние между швами 100, шаг 65. Плотность матов под нагрузкой 0,017 МПа не более 100 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность при средней температуре  $(25\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  не более 0,037 Вт/(м·К), влажность не более 1 %.

Размеры матов, мм:

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Длина . . . . .   | 3000      |
| Ширина . . . . .  | 500, 1000 |
| Толщина . . . . . | 50 и 100  |

Маты предназначены для теплоизоляции строительных конструкций, трубопроводов, промышленного оборудования при температуре изолируемой поверхности до 600 °С.

*Шнур минераловатный в оплетке из ровинга (ТУ 34-48-10258-81)* изготавливают из полосы минераловатного ковра, которой придают цилиндрическую форму оплеткой ровингом из стеклянных комплексных нитей. Предназначен для уплотнения стыков в строительных конструкциях при температуре изолируемой поверхности до 600 °С.

В зависимости от плотности подразделяется на марки 200 и 250 со следующей маркировкой: 200 ШМР-200 (шнур минераловатный в оплетке марки 200) и ШМРА-250 (шнур минераловатный в оплетке армированный марки 250). Размеры шнура, мм, для марки ШМР диаметр 40; 50; 60; 70; 80, число ровингов в оплетке 24 или 16, а для марки ШМРА диаметр 90; 100, число ровингов в оплетке 24. Теплопроводность шнура при средней температуре  $(25\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  марки 200 — 0,046...0,058 Вт/(м·К), а марки 250 — 0,052...0,064 Вт/(м·К). Влажность не более 1...2 %.

Оплетка шнура должна быть двусторонней перекрещивающейся. Половина ровингов расположена по ходу часовой стрелки, половина — против. Расстояние между ровингами должно не превышать 250 мм. Шаг плетки — более 250 мм.

*Теплоизоляционные минераловатные конструкции (ТК) (ТУ 21 ЛитССР 90-78)* изготавливают из плит минераловатных мягких, полужестких и жестких на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—82), приклеенных к защитному покрытию так, чтобы волокна были ориентированы перпендикулярно к нему и крепежным деталям.

Покровные материалы, применяемые для изготовления ТК, должны соответствовать: фольгоизол — ГОСТ 20429—84; стеклоруберонд марки С-РМ — ГОСТ 15679—83; фольгоруберонд — ТУ 21 ЭССР 69—79, покрытие защитное СПЛ — РСТ ЛитССР 485—73; битумы нефтяные строительные — ГОСТ 6617-76 \*.

Плотность теплоизоляционного слоя 100; 125 и 150. Соответственно прочность на сжатие при 10 % деформации 0,005 МПа, 0,015 и 0,02 МПа. Теплопроводность при средней температуре ( $25 \pm 5$ ) °С для теплоизоляционного слоя 125 — 0,058 Вт/(м·К). Конструкции предназначены для изолируемых поверхностей температурой не более 300 °С.

**Базальтовое волокно** по химическому составу относится к группе минераловатных материалов. Сырьем для его изготовления служит горная порода базальт. Плотность волокна 15...110 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,029...0,041 Вт/(м·К), температура применения —200...+700 °С. Из него изготавливают холсты, прошивные маты в обкладке из стеклянной и кремнеземной ткани, мягкие плиты. Волокно применяют как наполнитель растворов для штукатурок с целью повышения прочности их на растяжение и снижения плотности.

*Мягкие теплоизоляционные базальтовые плиты* (ТУ 21 УССР 814-74) изготавливают из супертонких базальтовых волокон диаметром 12...90 мкм со связующим из поливинилацетатной дисперсии. Плотность плит не более 110 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,041 Вт/(м·К), влажность не более 2 % по массе, содержание связующего не более 5 %.

Размеры плит, мм:

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Длина             | 500, 830 и 100           |
| Ширина            | 500, 600, 650            |
| Толщина . . . . . | 3, 6, 8, 10, 20, 30 и 40 |

В зависимости от толщины плиты выпускают следующих марок: ПМТБ-3, ПМТБ-6, ПМТБ-8, ПМТБ-10, ПМТБ-20, ПМТБ-30, ПМТБ-40.

Предназначены для тепловой изоляции поверхностей строительных конструкций, аппаратов и трубопроводов температурой —260...+600 °С.

*Теплозвукоизоляционные маты* марки АТМ-10 (РСТ УССР 5012-76) изготавливают из рыхлого слоя штапельных ультрасупертонких базальтовых волокон (диаметр до 3 мкм), покрытого с двух сторон стеклянной сеткой либо стеклянной или кремнеземной тканью и простроченного стеклянными или кремнеземными нитями. Края матов перекрывают той же тканью или сеткой, из которой сделана обкладка.

Размеры матов, мм:

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Длина             | 1100           |
| Ширина            | 600            |
| Толщина . . . . . | 5; 10; 15 и 20 |

Плотность 40...80 кг/м<sup>3</sup>, влажность матов не должна превышать 2 % по массе.

Маты марки АТМ-10 в обкладке из стеклосетки или стеклоткани предназначены для теплозвукоизоляции поверхностей температурой —200...+450 °С; АТМ-10к в обкладке из кремнеземной ткани — для температуры до 700 °С и АТМ-10т в обкладке из кремне-

земной термостойкой ткани — до 900 °С. Теплопроводность матов при средней температуре (25±5) °С составляет до 0,037 Вт/(м·К).

*Вата и маты из базальтового штапельного супертонкого волокна* (ТУ 21 РСФСР 669-75) — слой волокон, скрепленных между собой силами естественного сцепления: вата из базальтового волокна диаметром волокон до 3 мкм — БВ-3 и маты из базальтового волокна диаметром волокон до 3 мкм МБВ-3. Вата и маты содержат неволоконистых включений размером свыше 0,1 мм не более 10 %. Плотность при нагрузке 0,1 МПа не более 30 кг/м³, влажность более 2 %. Теплопроводность при средней температуре (25±5) °С не более 0,046 Вт/(м·К).

Размеры матов (длина, ширина, толщина) соответствуют спецификации заказчика. Масса одного упаковочного места до 20 кг. Вата и маты применяют для теплоизоляции и звукопоглощения строительных конструкций при температуре —60...±700 °С.

*Теплоизоляционный базальтовый картон* (ТУ 21 УССР 914-75 с учетом изменений 1977 г.) выпускают из базальтового супертонкого волокна марок «Б» и «С» (ТУ 550.2.44-72) и связующего из бетонитовой глины. Плотность базальтового картона 150...300 кг/м³, предел прочности при разрыве 0,1...0,3 МПа. Гигроскопичность (за 24 ч) по массе — не более 4 %. Теплопроводность не более 0,053 Вт/(м·К).

Базальтовый картон выпускают в виде плит размером, мм:

|         |                     |
|---------|---------------------|
| Длина   | 600, 700, 900, 1000 |
| Ширина  | 550, 600, 700, 1000 |
| Толщина | 2...20              |

Изделия предназначены для теплозвукоизоляции поверхностей разной конструкции при температуре —250...+750 °С. При проектировании следует учитывать, что материал боится влаги.

*Плиты мягкие теплоизоляционные базальтовые ПМТБ* (ТУ 21 УССР 94-77) изготавливают из супертонких базальтовых волокон из поливинилацетатной эмульсии. В зависимости от толщины их выпускают следующих марок: ПМТБ-3, ПМТБ-6, ПМТБ-8, ПМТБ-10, ПМТБ-20, ПМТБ-30, ПМТБ-40 (цифра обозначает толщину в мм).

Плотность изделий не более 110 кг/м³, теплопроводность при средней температуре (25±5) °С не более 0,041 Вт/(м·К). Предел прочности при разрыве не менее 0,05 МПа для плит ПМТБ-3, ПМТБ-8, ПМТБ-10 и не менее 0,2 для ПМТБ-20, ПМТБ-30 и ПМТБ-40. Влажность не более 2 % по массе. Остаточная деформация плит после снятия сжимающей нагрузки 0,001 МПа не должна превышать 3 %. Содержание связующего вещества по массе не более 5 %. Размеры плит, мм: длина — 500; 830; 1000; 1200; 1500, ширина — 500; 600; 800; 1000; 1200; 1500. Плиты применяют для тепловой изоляции конструкций с температурой изолируемой поверхностей —200...+700 °С.

*Шнуры теплоизоляционные базальтовые* (ТУ 21 УССР-154-78) состоят из сердцевины, изготовленной из супертонкого базальтового волокна, и оплетки сердцевины — базальтового волокна. Оплет-

ку шнуров диаметрами 6 и 10 мм выполняют жгутом толщиной 400...600 текс, а шнуров диаметром 20, 30 и 40 мм — жгутом толщиной 700...800 текс.

Шнуры, в зависимости от диаметра, выпускают следующих марок: БТШ-6, БТШ-10, БТШ-20, БТШ-30, БТШ-40 (цифры обозначают диаметр шнура в мм). Плотность шнуров соответственно их маркам, кг/м<sup>3</sup>: 530; 290; 200; 140; 135. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  не более 0,055 Вт/(м·К). Поставляются в бухтах массой до 30 кг. Предназначены для тепловой изоляции поверхностей температурой —260...+700 °С.

**Стекловолоконная вата** (ТУ-21-25-73-75) — волокнистый материал, изготавливаемый расплавлением в стекловаренных печах стеклового боя и вытягиванием его в волокна. Стекловолоконные волокна получают из расплава стеклянной шихты. Бывают двух видов: штапельное (длиной от нескольких миллиметров до 1...2 см) и непрерывное (без ограничения длины). Они длиннее, чем волокна минеральной ваты, и отличаются большей химической стойкостью, прочностью в эксплуатации и меньшей теплопроводностью.

Диаметры штапельного стекловолоконного волокна, в зависимости от назначения, мкм: супертонкое (СТВ) 1...3, тонкое 4...12 и утолщенное 13...25. Непрерывное стекловолоконное волокно выпускают диаметром 10...30 мкм. Плотность его от 25...200 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,04...0,05 Вт/(м·К).

Для теплоизоляции стекловатную вату применяют в виде матов, плит и полос, которые изготавливают связывая волокна проволокой или склеивая их вяжущими веществами для придания требуемой формы и прочности. В отдельных случаях применяют в качестве набивочного материала. Материал рыхлый и в теплоизоляции уплотняется по толщине до двух раз. Температура применения минеральной ваты не выше 450 °С. Упаковывают ее в бумажные и хлопчатобумажные мешки массой до 60 кг.

*Изделия теплоизоляционные из стекловолоконного штапельного волокна* (ГОСТ 10 499—78) изготавливают из стекловолоконной ваты длиной 100...300 мкм и диаметром 10 мкм методом раздува на связующем из синтетических смол в виде матов в рулонах и плит. Маты, в зависимости от плотности, выпускают двух видов: МС-35 и ТМ-50 (число обозначает плотность изделий).

Размеры матов, мм:

|         |           |                        |
|---------|-----------|------------------------|
| Длина   | . . .     | 1000...13000           |
| Ширина  | . . .     | 500; 900; 1000; 1500   |
| Толщина | . . . . . | 30; 40; 50; 60; 70; 80 |

Теплопроводность при температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  не более 0,047 Вт/(м·К), гигроскопичность (сорбционная влажность) по массе не более 4 %, уплотнение под нагрузкой 0,002 МПа (сжимаемость) для марки МС-50 не более 40.

В зависимости от плотности выпускают плиты: жесткие строительные ПЖС-175; ПЖС-200; полужесткие строительные ППС-50; ППС-75, полужесткие технические ППТ-40; ППТ-50; ППТ-75.

| Размеры плит, мм:                      | Длина               | Ширина     | Толщина             |
|----------------------------------------|---------------------|------------|---------------------|
| Жесткие . . . . .                      | 1000                | 1500       | Не регламентируется |
| Полужесткие . . . . .                  | Не регламентируется | 500; 900;  | 50, 60, 70, 80      |
| Полужесткие техни-<br>ческие . . . . . | 1000, 1500          | 1000, 1500 | Не регламентируется |
|                                        |                     | 475, 950   |                     |

Теплопроводность плит при температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К) для ПЖС-175 — 0,052, ПЖС-200 — 0,052; ППС-50, ППС-75, ППТ-50 и ППТ-75 — 0,047 и ППТ-40 — 0,043. Гигроскопичность плит по массе не более 5 %. Содержание связующего вещества по массе не более 11...13 %. Изделия относятся к группе трудносгораемых материалов. Изоляция из них требует жесткого покрытия, так как материал обладает упругостью (коэффициент возвратимости 90 %) и уплотняется. Изделия применяют для изоляции строительных конструкций, трубопроводов и оборудования.

*Маты и полосы из стеклянного волокна* (ТУ 21-23-72-75) изготавливают из непрерывного стеклянного волокна, скрепленного прошивкой из стеклоткани. Это эластичные пластины прямоугольной формы, которые получают из нескольких слоев стеклянного волокна, положенных друг на друга и покрытых с двух сторон стеклотканью или стеклохолстом. Крепят с помощью прошивных хлопчатобумажных или стеклянных нитей.

Маты и полосы делятся на марки: МТС-12 — покрыты стеклотканью марки А; МТХ-20, МТХ-30, ПТХ-30 — покрыт стеклохолстом ВВТ.

| Размеры матов, мм:     | Длина       | Ширина                   | Толщина    |
|------------------------|-------------|--------------------------|------------|
| Марки МТС-12 . . . . . | 1000        | 500                      | 5 и 9      |
| » МТХ-30 . . . . .     | 1000...3000 | 300...700                | 20, 30, 50 |
| » ПТХ-30 . . . . .     | 500...3000  | 200...250 и<br>300...700 | 20, 30, 50 |

Плотность матов соответственно составляет, кг/м<sup>3</sup>: 110; 150; 170 и теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К): 0,046; 0,049 и 0,052. Влажность не более 5 % по массе. Маты применяют для изоляции горячих и холодных поверхностей конструкций при температуре —200...+450 °С, а марки МТС-12 — до 500 °С.

*Вата и маты из супертонкого стекловолокна без связующего* (ТУ 21 РСФСР 22-75) изготавливаются раздувом стекла горячими газами до супертонких нитей, скрепляющихся между собой силами естественного сцепления. Плотность матов не превышает 25 кг/м<sup>3</sup>, а для изделий высшей категории 20 кг/м<sup>3</sup>. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  — 0,044 Вт/(м·К). Влажность ваты и матов не более 5 % по массе, а для изделий высшей категории — не более 3. Диаметр волокон в матах не должен превышать 3 мкм, а для изделий высшей категории качества 2,5 мкм. Масса упакованной ваты не более 15 кг. Размеры по массе согласовывает заказчик с заводом. Вату применяют для изоляции трубопроводов, оборудования и строительных конструкций.

*Маты прошивные из супертонкого стекловолокна без связующего* (ТУ 95-324-80) изготавливают, прошивая маты из супертонкого стекловолокна без связующего с обкладкой из стеклоткани.

Плотность матов высшей категории качества без учета обкладок — не более  $45 \text{ кг/м}^3$ , а I категории — 50. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  —  $0,044 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  при влажности по массе не более 3 % для высшей категории качества и 5 для I категории. Маты должны быть обернуты со всех сторон стеклотканью и прошиты сплошными швами в продольном направлении. Расстояние между швами 100 мм, шаг шва 70...100 мм. Расстояние между кромкой и крайним швом 50 мм.

Размеры матов, мм:

|         |                                             |
|---------|---------------------------------------------|
| Длина   | 1000, 1250, 1500, 1750, 2000,<br>2250, 2500 |
| Ширина  | 500                                         |
| Толщина | 30...60 (с интервалом 10 мм)                |

Маты применяют для тепловой изоляции изолируемой поверхности при температуре не более  $450^\circ\text{C}$ .

Маты без связующего из ультратонкого или супертонкого стекловолокна (ТУ 18-16-84-82) изготавливают, раздувая стекла малоборного состава горячими газами до ультра- или супертонких нитей, скрепляющихся между собой силами естественного сцепления. Диаметр волокон не более 2 мкм.

Плотность матов не более  $8 \text{ кг/м}^3$  при влагосодержании по массе не более 2 %.

Размеры матов, мм:

|         |                    |
|---------|--------------------|
| Длина   | 110                |
| Ширина  | 60                 |
| Толщина | 20, 30, 40, 50, 60 |

Маты применяют для тепловой изоляции изолируемой поверхности при температуре не более  $450^\circ\text{C}$ .

Материалы теплозвукоизоляционные АТМ-1 (ТУ 18-16-85-76) изготавливают из супертонкого волокна со средним диаметром не более 2,5 мкм из стекла малоборного состава № 20 в виде мата, состоящего из рыхлого слоя супертонких штапельных стеклянных волокон, связанных фенолоформальдегидной смолой. Маты могут быть оклеены алюминиевой фольгой, синтетической пленкой ПЭТФ или стеклотканью СТФ.

Плотность неоклеенного материала в пределах  $8...10 \text{ кг/м}^3$ , при влажности по массе не более 2 %. Содержание связующего в материале 15...25 %.

Размеры материала, мм:

|         |                     |
|---------|---------------------|
| Длина   | 5750                |
| Ширина  | 575                 |
| Толщина | 20, 25, 30, 35 и 40 |

Материалы применяют для тепловой изоляции поверхностей при их температуре  $-60...+150^\circ\text{C}$ , оклеенные пленкой ПЭТФ  $-60...+70^\circ\text{C}$  и стеклотканью СТФ  $-60...+80^\circ\text{C}$ .

Полотно холстопршивное из отходов стеклянного волокна (ТУ 6-11-454-77) изготавливают из мягких отходов производства

стеклянного волокна различного химического состава и на разных замасливателях. Полотно перевязывают стеклянными кручеными комплексными нитями в соответствии с ГОСТ 8.453—82. Для строительных целей полотна применяют следующих марок: ХПС-Т-5, ХПС-1-2,5. (ХП — холстопрощивной, С — из отходов стекловолокна, Т — для теплоизоляции; 2,5; 5 — классы вязальнопрощивной машины). Поверхностная плотность полотна 480 и 500 г/м<sup>2</sup>.

Длина полотна в рулоне должна быть не менее 30 м при ширине до 1000 мм включительно и не менее 20 м при ширине более 1000 мм и толщине его 1,4 мм. Полотна применяют для тепловой изоляции различных конструкций.

**Материал теплозвукоизоляционный марки АТИМСС** (ТУ 17 РСФСР 3919-75) изготавливают в виде пологов из рыхлого штапельного стекловолокна диаметром 5...7 мкм с приклейкой бакелитовым лаком. В зависимости от толщины полога выпускают пяти марок.

Размеры пологов, мм:

|         |                     |
|---------|---------------------|
| Длина   | 1300                |
| Ширина  | 1000                |
| Толщина | 15, 20, 25, 30 и 50 |

Плотность материала 25 кг/м<sup>3</sup>, а изоляции 50, теплопроводность при средней температуре (25±5) °С составляет 0,0348 Вт/(м·К).

Применяют для тепловой и звуковой изоляции различных конструкций при температуре эксплуатации —60...+150 °С. Материал требует уплотнения и жесткого покрытия. Поставляется в фанерных ящиках массой (брутто) не более 60 кг.

**Пеностекло** (РСТ БССР 665-82) получают спеканием смеси порошкообразного стекла с газообразователем (древесный уголь и лак) и последующим обжигом. Характеризуется высокой пористостью и имеет в структуре замкнутые мелкие поры размером 0,1...0,5 мм. Плотность материала 230 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при температуре (25±5) °С не более 0,093 Вт/(м·К), предел прочности при сжатии не менее 0,7 МПа и водопоглощение (по объему) не более 6 %. Материал обладает повышенной химической и биологической стойкостью и негорючестью. Хорошо сцепляется с вяжущими (цементом, битумом).

Размеры блоков, мм:

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| Длина   | 200                          |
| Ширина  | 125...400                    |
| Толщина | 120, 100, 80, 125...400 и 60 |

Допускается изготовление блоков промежуточных размеров, по длине и ширине кратных 25 мм.

Блоки и панели из пеностекла применяют для теплоизоляции ограждающих конструкций, внутренних перегородок зданий, а также для изоляции оборудования.

**Асбест хризотилковый** (ГОСТ 5.11 80—71) — горная порода волокнистого строения плотностью 2400...2600 кг/м<sup>3</sup>. После добычи подвергается очистке (обогащению) от примесей и расщеплению



на тонкие эластичные волокна (распушке). По состоянию волокон (текстуре) делится на группы: жесткую, полужесткую, мягкую и негарантированную; по длине волокон — на сорта. Для изготовления теплоизоляционных материалов используют асбест мягкой текстуры 4-го и 5-го сортов. К эффективным материалам на основе асбеста относятся: совелитовые, асбозурит, известково-кремнеземистые, вулканитовые изделия, «Ньювель». Теплопроводность асбеста в зависимости от плотности 0,01...0,026 Вт/(м·К). Плотность асбеста 4-го и 5-го сортов 250...400 кг/м³.

Асбест обладает сравнительно высокой температуростойкостью: при температуре 200 °С начинает терять прочность, а при 600 °С разрушается. Материал впитывает большое количество влаги и легко ее испаряет при нагревании. Асбестовый порошок в сочетании с перлитовым обожженным порошком фракции 1,5...5 мм и калийным жидким стеклом или с асбестом марки П-3-50, П-4-20 и портландцементом марки 500 — эффективная противопожарная изоляция строительных конструкций. Может применяться при температуре поверхностей конструкций 600...950 °С. Плотность смеси 200...400 кг/м³. Напыляется на поверхность конструкций с помощью воды.

*Изделия известково-кремнеземистые теплоизоляционные* (ГОСТ 247-48-81) изготавливают формованием и последующей автоклавной обработкой водной суспензии тонкоизмельченной смеси извести, кремнеземистого материала и асбеста. В зависимости от плотности подразделяются на марки: 200 (высшая категория качества) и 225 (первая категория качества). Теплопроводность изделий при средней температуре  $(25 \pm 5)$  °С соответственно 0,058 и 0,065 Вт/(м·К). Предел прочности при изгибе в сухом состоянии не менее 0,35 МПа. Линейная температурная усадка при температуре 600 °С для высшей категории качества не более 1,8 %, а для первой — 2, влажность соответственно не более 65 и 70 %.

Изделия выпускают в виде плит прямоугольного и трапециевидального сечения, полуцилиндров и сегментов.

Размеры плит прямоугольного сечения (ППС), мм:

|                 |          |
|-----------------|----------|
| Длина . . . . . | 1000     |
| Ширина          | 500      |
| Толщина         | 75 и 100 |

Размеры плит трапециевидального сечения (ПТС), мм длина по нижнему основанию 1025, по верхнему 1000, ширина по нижнему основанию 525, по верхнему 500, толщина такая же как плит ППС. Полуцилиндры (Ц), в зависимости от внутреннего и наружного диаметра, выпускают восьми типоразмеров при длине 1000 мм, а сегменты (С) — тринадцати при той же длине.

Известково-кремнеземистые изделия применяют для тепловой изоляции ограждающих конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 600 °С.

*Совелит* в виде жестких изделий (ГОСТ 6788—74) и порошка (ТУ 36-131-77) изготавливают из смеси углекислых солей магния и

кальция, получаемых переработкой доломита (80 %) и распушенного асбеста (20 %) формованием и сушкой. Из совелита изготавливают плиты, полуцилиндры и сегменты. Размеры плит, мм: длина 250, 500; ширина 170, 250, 500 и толщина 40, 50, 60, 75, внутренний диаметр полуцилиндров 57, 76, 89, 108, 133, 159.

Порошок изготавливают путем размола боя совелитовых изделий и используют как наполнитель теплоизоляционных матрацов и для штукатурки (ТУ 36-131-77). Плотность совелитового порошка 250 кг/м<sup>3</sup>, плит — 350 и 400, а штукатурки — 440, соответственно теплопроводность при средней температуре (25±5) °С: 0,093, 0,079, 0,084 и 0,09 Вт/(м·К). Предел прочности при изгибе совелитовых плит марки 350 составляет 0,20 МПа, а марки 400 — 0,22. Влажность не более 30 % по массе.

Совелитовые изделия применяют для тепловой изоляции ограждающих конструкций, промышленного оборудования и трубопроводов с предельной температурой до 500 °С. Изоляционные конструкции из них укладывают по асбестовой прокладке и подмазке из мастичного совелита, швы промазывают совелитом. Совелитовую изоляцию из мастики укладывают по асбестовой прокладке и оштукатуривают другим материалом, например, асбозуритом.

*Изделия теплоизоляционные вулканические* (ГОСТ 10179—74) изготавливают из диатомита (трепела), извести и асбеста формованием тонкодисперсной массы, автоклавной обработкой и сушкой. По плотности выпускают марок: 300, 350 и 400; теплопроводность при средней температуре (25±5) °С соответственно: 0,07; 0,081 и 0,087 Вт/(м·К); предел прочности при изгибе при влажности изделий до 30 % по массе соответственно 0,3; 0,35; 0,4 МПа.

Изделия изготавливают следующих размеров, мм:

|                              |           |                      |
|------------------------------|-----------|----------------------|
| Длина плит                   | . . . . . | 250, 550             |
| Ширина »                     | . . . . . | 170, 250, 500        |
| Толщина »                    | . . . . . | 40, 50, 60 и 75      |
| Толщина полуцилиндров        | . . . . . | 30, 40, 50, 60       |
| Внутренний диаметр »         | . . . . . | 57, 76, 89, 108, 133 |
|                              |           | 159                  |
| Внутренний диаметр сегментов | . . . . . | 219, 373, 377 и 426  |

Изделия применяют для тепловой изоляции ограждающих конструкций и различных поверхностей с температурой до 600 °С.

*Магнезия «Ньювель»* (ТУ 6-22-20-74) представляет собой сыпучий теплоизоляционный материал, состоящий из смеси магнезии (85 %) и распушенного асбеста не ниже 3-го сорта (15 %) для получения «Ньювеля» магнезию (основной водный карбонат) смешивают с асбестом и пропускают через дезинтегратор.

Плотность порошка 200 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при средней температуре (25±5) °С составляет 0,08 Вт/(м·К). Порошок применяют как заполнитель теплоизоляционных матрацев. При затворении порошков водой получают мастику, которую используют для оштукатуривания, теплоизоляции горячих поверхностей с предельной температурой до 330 °С. При затворении на 1 т магнезии «Ньювель» расходуется 3...3,5 м<sup>3</sup> воды. Плотность штукатурки 400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при средней температуре (20±5) °С

составляет 0,09 Вт/(м·К). Материал можно применять повторно после размельчения и затворения водой. Если на горячую поверхность ограждения положить более теплоустойчивый материал, например совелит, а сверху покрыть магнезией «Ньювель», такой материал можно применять до температуры 400 °С.

**Асбозурит** (ТУ 36-130-77) представляет собой теплоизоляционный порошок из смеси трепала или диатомита с асбестом не ниже 6-го и 7-го сортов (в количестве не менее 15 %). В зависимости от назначения делят на классы А и Б, а каждый класс, в зависимости от плотности,— на три марки: 600, 700, 800. Теплопроводность при средней температуре  $(25 \pm 5)$  °С соответственно для каждой марки составляет 0,174; 0,198 и 0,221 Вт/(м·К).

Асбозурит применяют в затворенном виде как температуростойкую подмазку при тепловой изоляции жесткими изделиями в качестве мастики, а также для оштукатуривания сложных поверхностей теплоизоляции, где необходима повышенная прочность наружного покрытия. Предел прочности при изгибе асбозуритовой штукатурки 0,6 МПа. Асбозурит класса А применяют при температуре изолируемой поверхности 600 °С, а класса Б — 900. Материал необходимо хранить в закрытых помещениях, исключающих загрязнение, увлажнение и промерзание при наличии влаги.

**Теплоизоляционные асбестовые матрацы** шьют из асбестовой ткани марки АТ-7 с наполнителем из сыпучего или волокнистого теплоизоляционного материала, например совелита или «ньювеля», минеральной или стеклянной ваты, волокнистого асбеста 4-го...5-го сортов. Размеры асбестовых матрацев, мм: длина 8000...10 000, ширина по согласованию с заказчиком и толщина 30...50. Матрацы простегивают насквозь и прошивают по периметру асбестовой нитью. Плотность матрацев 300...400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводимость при средней температуре  $(25 \pm 5)$  °С составляет 0,084 Вт/(м·К). Предельная температура применения зависит от температуростойкости асбестовой ткани и наполнителя и, как правило, не превышает 500 °С.

Матрацы можно свободно укладывать на горизонтальные конструкции, а на профильные пристегивать нашитыми латунными крючками.

**Песок и щебень перлитовые вспученные** (ГОСТ 10832—83) — самый легкий из известных пористых заполнителей минерального происхождения, который получают в результате вспучивания при температуре 950...1100 °С некоторых кислых водосодержащих стекловидных пород вулканического происхождения (таких как перлит, обсидиан).

Вспученный перлитовый песок применяют при изготовлении легких бетонов, тепло-, звукоизоляционных и других материалов, изделий, штукатурных растворов, а также теплоизоляционных засыпок при температуре изолируемых поверхностей — 200...+875 °С. Вспученный перлитовый щебень применяют в качестве заполнителя в легких бетонах. Он огнестоек, биостоек, не имеет запаха.

Песок, в зависимости от насыпной плотности, предназначается:

марок 75, 100 и 150 — для изготовления теплоизоляционных, акустических материалов и штукатурных растворов;

75, 100, 150, 200 и 250 — в качестве наполнителя и добавок при производстве огнестойких и антикоррозионных обмазок и для теплоизоляционных засыпок;

75 и 100 — для изоляции низкотемпературных объектов;

200, 250, 300, 400 и 500 — в качестве заполнителя для легких бетонов.

Песок подразделяют в зависимости от размера зерен, мм:

|         |             |
|---------|-------------|
| Рядовой | До 5        |
| Крупный | 1,25...5    |
| Средний | 0,16...2,5  |
| Мелкий  | 0,16...1,25 |
| Пудра   | До 0,16     |

Содержание зерен размером крупнее и мельче для каждого отдельно взятого предельного значения для песка обычно должно быть не более 15 % по объему. В песке, применяемом для конструкционно-теплоизоляционных бетонов, содержание зерен размером менее 0,16 мм не должно превышать 10 % по объему.

Теплопроводность зависит от марки перлитового песка по насыпной плотности (ГОСТ 10832—83).

| Марка песка | Теплопроводность при<br>$t = (25 \pm 5)^\circ\text{C}$ ,<br>$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 75          | 0,047                                                                                             |
| 100         | 0,052                                                                                             |
| 150         | 0,058                                                                                             |
| 200         | 0,064                                                                                             |
| 250         | 0,070                                                                                             |
| 300         | 0,076                                                                                             |
| 400         | 0,081                                                                                             |
| 500         | 0,093                                                                                             |

Перлитовый щебень используют, в основном, в качестве заполнителя для конструкционно-теплоизоляционных изделий. В зависимости от насыпной плотности подразделяют на марки 200, 250, 300, 400, 500 (ГОСТ 9757—83). При производстве теплоизоляционных работ с перлитовым песком следует учитывать, что он в процессе эксплуатации уплотняется: марки 100 — до плотности 120 кг/м<sup>3</sup>, 180 — до 180 кг/м<sup>3</sup> и т. д.

Изделия перлитокерамические теплоизоляционные (ГОСТ 21521—76) изготавливают формованием, сушкой и обжигом вспученного перлитового песка и пластичной глины (8...12 %) с добавками или без них. В зависимости от плотности материал подразделяют на марки 250, 300, 350 и 400, теплопроводность при температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  (соответственно маркам) составляет 0,058; 0,081; 0,093; 0,104 Вт/(м·К). Предел прочности при сжатии по маркам 0,3; 0,5; 0,7; 1,0 МПа.

Материал выпускают в виде плит, сегментов, полуцилиндров и кирпича.

## Размеры, мм:

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| Длина плиты        | 250 и 500          |
| Ширина »           | 250 и 500          |
| Толщина »          | 50, 60, 75 и 80    |
| Длина кирпича      | 230                |
| Ширина »           | 113                |
| Толщина »          | 65                 |
| Длина полуцилиндра | 1000               |
| Толщина »          | 40 и 70            |
| Длина сегмента     | 500                |
| Ширина »           | 133, 159, 219      |
| Толщина »          | 40, 50, 55, 70, 80 |

Материал применяют для тепловой изоляции поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре до 900 °С.

Смешивая сухие порошки глины и перлитовый вспученный песок в соотношении по массе 1 : 4 с последующим увлажнением смеси водным раствором фосфатов, получают керамоперлитофосфатные изделия. Их прессуют при удельном давлении 1 МПа на серийных прессах. Обжигают в туннельной печи при температуре 900 °С в виде кирпича, плит и скорлуп. Плотность изделий 250... 400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность при температуре 600 °С — 0,07... 1,65 Вт/(м·К). Перлитофосфатные изделия применяют для печей, реакторов в химической промышленности при температуре 1150 °С.

Изделия теплоизоляционные перлитоцементные (ГОСТ 18109—80) изготавливают формованием и сушкой из вспученного перлитового песка и вяжущих с добавкой асбеста. В зависимости от плотности выпускают трех марок: 250, 300 и 350, теплопроводность при температуре (25±5) °С соответственно 0,070; 0,075; 0,081 Вт/(м·К), предел прочности при сжатии 0,22; 0,24; 0,26 МПа.

Материал выпускают в виде плит, полуцилиндров (скорлуп) и сегментов. Размеры плит, мм: длина 500, ширина 500, толщина 50 и 75. Длина полуцилиндров 500 и 100. Внутренний диаметр полуцилиндров, мм: 57, 76, 89, 108, 159, 133, 159; сегментов — 273, 325, 377 и 426. Толщина изделий: 40, 50, 55, 65, 70, 75 и 80 мм.

Изделия применяют для тепловой изоляции ограждающих конструкций, поверхностей промышленного оборудования и трубопроводов при температуре изолируемых поверхностей до 600 °С. Материал хрупок и требует осторожного обращения.

*Изделия теплоизоляционные из вспученного перлита на битумном связующем* (ГОСТ 16136—80) получают формованием и сушкой из вспученного перлитового песка, битумного связующего с добавкой асбеста (или без нее). Битумоперлит представляет собой тепло-, паро- и гидроизоляционный материал. При изготовлении изделий битумоперлитовую смесь подают в формовочный агрегат, где под давлением 0,6...0,7 МПа прессуют в плиты и другие изделия.

Техническая характеристика изделий из вспученного перлита на битумном связующем (по маркам):

|                                            |       |       |       |      |      |
|--------------------------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .     | 250   | 300   | 350   | 400  | 450  |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .       | 0,075 | 0,087 | 0,099 | 0,11 | 0,12 |
| Предел прочности при изгибе, МПа . . . . . | 0,15  | 0,15  | 0,15  | 0,2  | 0,2  |

Битумоперлит отпускают заказчикам как в виде изделий, так и в виде товарной смеси. Техническая характеристика монолитного битумоперлита соответствует показателям изделий, выпускаемым на заводе. В НИИСМИ МПСМ СССР разработан проект установки для производства битумоперлита БПУ-15 мощностью 15 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Изделия выпускают в виде плит, полуцилиндров и сегментов размерами, мм:

|                    |  |            |
|--------------------|--|------------|
| Плиты              |  |            |
| длина и ширина     |  | 500        |
| Полуцилиндры       |  |            |
| длина              |  | 500        |
| толщина            |  | 40; 50; 60 |
| внутренний диаметр |  | 57...159   |
| Сегменты           |  |            |
| длина              |  | 500        |
| толщина            |  | 50, 60     |
| внутренний диаметр |  | 219...426  |

Применяют для теплоизоляции строительных конструкций, промышленного оборудования при температуре —60...+50 °С.

Применять битумоперлит для теплоизоляции трубопроводов рекомендуется при бесканальной прокладке тепловых сетей с температурой теплоносителя до 160 °С. Для этих целей рекомендуется использовать битумоперлит марок 350...400.

Битумоперлитовыми плитами изолируют вертикальные поверхности на горячем битуме, плотно прижимая их к изолируемым конструкциям (без зазоров). Битумоперлит в монолите и в виде изделий применяют для утепления и гидроизоляции совмещенных кровель, гидро- и теплоизоляции промышленных холодильников и другого технологического оборудования.

*Изделия перлитоволокнистые теплоизоляционные (ТУ 21 СССР 350-83) изготавливают из вспученного перлитового песка марки 100, базальтового супертонкого волокна БСТВ, бетонитовой глины и кальцинированной соды. Технологический процесс изготовления изделий состоит из следующих этапов: приготовление гидромассы в гидроразбавителе, формование на цилиндрическом вакуум-фильтре и сушка на конвейерном сушиле. После этого изделия разрезают на отдельные листы. Плотность изделий 175, 200 и 250 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при разрыве 0,23...0,25 и 0,28 МПа, теплопроводность — 0,044...0,048 Вт/(м·К), гигроскопичность — не более 4 % за 24 ч.*

Изделия выпускают в виде листов толщиной 3...15 мм и используют в строительстве для изоляции стен, перекрытий, тепловой изоляции энергетических установок и систем коммуникаций, работающих при температуре —260...+750 °С.

Изделия перлитофосфогелевые теплоизоляционные (ГОСТ 21500—76) получают формованием и сушкой из вспученного перлитового песка, асбеста, жидкого стекла с добавкой ортофосфорной кислоты и гидрофобизирующей жидкости ГКЖ-10 или ГКЖ-11 с гидроизоляционно-упрочняющим покрытием в виде оберточной, мешочной или битумной бумаги, наклеенной водостойкими клеящими составами. Формуют изделия под давлением 0,4...0,5 МПа и подвергают кратковременной термообработке при температуре 250...300 °С в печах марки ПОГ-219.

Материал выпускают в виде плит, полуцилиндров, сегментов.

Техническая характеристика перлитофосфогелевых изделий (по маркам):

|                                                    |       |       |       |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                       | 200   | 250   | 300   |
| Теплопроводность при температуре 25±5 °С, Вт/(м·К) | 0,064 | 0,075 | 0,081 |
| Прочность при изгибе без покрытия, МПа             |       |       |       |
| высшая категория качества                          | 0,2   | 0,3   | 0,4   |
| I           »           »                          | 0,15  | 0,25  | 0,35  |
| Прочность при изгибе с покрытием, МПа              |       |       |       |
| высшая категория качества                          | 0,5   | 0,6   | 0,7   |
| I           »           »                          | 0,45  | 0,55  | 0,65  |
| Прочность при сжатии, МПа                          |       |       |       |
| высшая категория качества                          | 0,4   | 0,5   | 0,6   |
| I           »           »                          | 0,35  | 0,45  | 0,55  |

Размеры изделий, мм:

|                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| Длина плит                       | 450, 500, 900 и 1000         |
| Ширина   »                       | 250, 450, 50                 |
| Толщина   »                      | 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 |
| Длина полуцилиндров и сегментов  | 500                          |
| Внутренний диаметр полуцилиндров | 57, 76, 89, 108, 133, 159    |
| То же, сегментов                 | 325, 377 и 426               |
| Толщина   »                      | 50 и 75                      |

Комбинат «Стройперлит» выпускает перлитофосфогелевые оклеенные бумагой плиты размерами, мм: 1000×500×60, 900×500×50 и 900×500×80. Их используют для теплоизоляции кровель и стен, а также огнезащиты стальных конструкций. Можно применять в качестве теплоизоляционного слоя панелей.

Изделия без гидроизоляционно-упрочняющего покрытия эффективны при изоляции поверхностей температурой 700...1000 °С.

Изделия из перлитового обжигового легковеса (ПОЛ) (ТУ 21-34-4-73) изготавливают из вспученного перлитового песка марки 75 и модулем крупности более 1,5 легкоплавких связок (жидкое стекло плотностью 1,3...1,4, модулем 2,7...3,5; бура; борная кислота, хлористый литий) прессованием и последующим обжигом при температуре 700...770 °С.

Для получения 1 м<sup>3</sup> изделий расходуют 85...160 кг вспученного перлитового песка плотностью не более 80 кг/м<sup>3</sup> и 16...21 кг легкоплавкой связки. Для повышения однородности смеси перемешанную и увлажненную в растворомешалке массу пропускают через сито

с отверстиями размером 5 мм. Спрессованные изделия обжигают при температуре 800 °С.

Материал выпускают в виде изделий раз-  
мерами, мм:

Плиты, кирпич

|         |       |                     |
|---------|-------|---------------------|
| длина   | . . . | 500                 |
| ширина  |       | 250                 |
| толщина |       | 60...100 (через 10) |

Скорлупы

|         |       |                      |
|---------|-------|----------------------|
| длина   | . . . | 360...600 (через 50) |
| толщина | . . . | 60...100 (через 10)  |

Трубы наружные диаметром . . . . . 48, 57, 76, 89, 108

Сегменты

|         |       |               |
|---------|-------|---------------|
| длина   | . . . | 600           |
| толщина | . . . | 80, 90, 100 . |

Плиты обжигового легковеса применяют в виде пакетов размером 1500(1000)×1000×60 мм, собранных из отдельных плит и оклеенных со всех сторон пергамином.

Плотность изделий из обжигового легковеса 100...200 кг/м<sup>3</sup> теплопроводность — 0,058...0,081 Вт/(м·К); прочность при сжатии 0,17...0,6 МПа, при изгибе 0,14...0,45 МПа. Изделия из обжигового легковеса применяют для теплоизоляции покрытий производственных и общественных зданий с несущими стальными оцинкованными профилированными настилами, утепления стеновых навесных алюминиевых панелей для общественного и жилищного строительства, тепловой изоляции горячих поверхностей при температуре 600...700 °С, паропроводов высокого давления, турбин электростанций, тепловых установок.

*Пластперлит* получают на основе вспученного перлитового песка и синтетических смол из смеси инден-кумароновых и мочевиноформальдегидных смол в соотношении 1,5 : 1. Материал разработан ВНИИстройполимером и НИИСМИ МПСМ УССР. Инденкумароновую смолу размалывают на вибромельнице до тонкости 85 мкм, затем перемешивают со вспученным перлитовым песком и в приготовленную смесь подают мочевиноформальдегидную эмульсию, отверждая ее хлористым аммонием. Формуют изделия методом прессования. Термообработку проводят в сушилах с температурой теплоносителя 140...150 °С. Расход смол на 1 м<sup>3</sup> пластперлитовых изделий 35...40 кг, вспученного песка с модулем крупности 2 — 1,5...1,6 м<sup>3</sup>. Изделия из пластперлита можно выпускать любых размеров и разного профиля (в зависимости от назначения).

#### Технологическая характеристика пластперлитовых изделий

|                                                      | По технологии<br>ВНИИстройполи-<br>меры | По технологии<br>НИИСМИ<br>МПСМ УССР |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .               | 120...250                               | 200...300                            |
| Предел прочности при сжатии, МПа                     | 0,6...4                                 | 0,7...1                              |
| Предел прочности при изгибе, МПа                     | 0,4...3                                 | 0,15...0,3                           |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)                           | 0,052...0,058                           | 0,069...0,081                        |
| Водопоглощение за 24 ч (по объ-<br>ему), % . . . . . | 2...6                                   | 3...7                                |



Изделия из пластперлита целесообразно применять для теплоизоляции холодильников, самонесущих и навесных легких панелей с наружными слоями из стеклопластика, асбестоцемента и алюминия.

**Вермикулит вспученный** (ГОСТ 12865—67) — сыпучий материал чешуйчатого строения, получаемый при обжиге горной породы — гидратированной слюды. Его применяют самостоятельно как теплоизоляционную засыпку, а также в разных композициях при изготовлении теплоизоляционных изделий и как заполнитель для бетона.

По плотности материал делится на три марки: 100, 150 и 200. В зависимости от размера гранул — на три фракции размером, мм: крупный — 5...10, средний — 0,6...5 и мелкий до 0,6. Теплопроводность вспученного вермикулита при температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  зависит от плотности: 0,064; 0,071 и 0,075 Вт/(м·К). Температура применения — 260...1100 °C.

*Изделия асбестовермикулитовые теплоизоляционные* (ГОСТ 13450—68) изготавливают из смеси обожженного вермикулита, асбеста и связующего (бентонитовой глины). Материал выпускают в виде плит, сегментов и полуцилиндров.

Размеры изделий, мм:

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| Длина плит           | 500 и 1000               |
| Ширина »             | 500                      |
| Толщина »            | 40, 50, 80, 100          |
| Длина полуцилиндров  | 500                      |
| Внутренний диаметр » | 52, 67, 77, 95, 116, 117 |
| Толщина »            | 40, 50                   |
| Длина сегментов      | 500                      |
| Внутренний диаметр » | 222, 282, 388            |
| Толщина »            | 40, 50                   |

Техническая характеристика изделий:

|                                                                        |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                                           | 250   | 300   | 350   |
| Теплопроводность при температуре $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К) | 0,087 | 0,093 | 0,099 |
| Предел прочности при изгибе, МПа                                       | 0,15  | 0,15  | 0,15  |

Изделия применяют для тепловой изоляции строительных конструкций, трубопроводов и аппаратов с температурой поверхности до 600 °C.

*Асбестовермикулитовые и асбестоперлитовые теплоизоляционные плиты и скорлупы* (ТУ 21-25-84-80) изготавливают из распушенного асбеста, вспученного вермикулита или перлита и их смеси, а также связующего вещества. Изделия, в зависимости от плотности материала и наполнителя, выпускают следующих марок (цифры обозначают плотность материала):

|                                            |           |           |         |
|--------------------------------------------|-----------|-----------|---------|
| Из обожженного вермикулита                 | ФОВ-230,  | ФОВ-250,  | ФОВ-280 |
| То же, перлита                             | ФОП-230,  | ФОП-250,  | ФОП-280 |
| Из смеси обожженного вермикулита и перлита | ФОВП-230, | ФОВП-250, |         |
|                                            | ФОВП-280  |           |         |

Теплопроводность изделий при средней температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  — 0,087 Вт/(м·К), влажность не более 5 %, предел проч-

ности при сжатии не менее 0,1 МПа и при изгибе 0,17...0,18 МПа. Изделия относятся к группе несгораемых.

Размеры выпускаемых изделий,  
мм:

|                                |                                                                                  |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Длина плит . . . . .           | 1000                                                                             |
| Ширина » . . . . .             | 500                                                                              |
| Толщина » . . . . .            | 40, 50                                                                           |
| Длина скорлупы . . . . .       | 500                                                                              |
| Толщина » . . . . .            | 30, 40, 50, 60, 70                                                               |
| Внутренний диаметр » . . . . . | 57, 70, 75, 89, 108, 128, 133,<br>140, 159, 168, 188, 195, 219,<br>245, 279, 295 |

Изделия предназначены для изоляции строительных конструкций и трубопроводов при температуре изолируемой поверхности —40...+600 °С.

**Диатомит комовой** (ТУ 36-132-77) осадочная пористая порода, состоящая из 70...90 % аморфного кремнезема, которую используют для обжиговых изделий (диатомитовых, пенодиатомитовых) и асбестодиатомитовых материалов (асбозурита и вулканита). Диатомит в измельченном состоянии применяют в качестве засыпки в конструкциях для изоляции поверхностей температурой до 1000 °С. Плотность засыпок 300...800 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,067...0,19 Вт/(м·К). Материал в природном состоянии обладает пористостью до 85 %, водопоглощение его достигает 150 %.

**Крошка диатомитовая (трепельная) обожженная** (ТУ 36-888-77) в зависимости от размера зерен выпускается следующих гранулометрических фракций размерами, мм:

|               |        |
|---------------|--------|
| Ф-1 . . . . . | До 1   |
| Ф-2 . . . . . | 1...3  |
| Ф-3 . . . . . | 3...8  |
| Ф-4 . . . . . | 8...20 |
| ФР . . . . .  | До 12  |

Крошка диатомитовая обожженная по плотности делится на марки 500 и 600, теплопроводность при температуре (25±5) °С — 0,11...0,12 Вт/(м·К), влажность не более 5...6 %. Материал используется в качестве засыпок для тепловой изоляции промышленных печей и оборудования с температурой поверхности до 900 °С.

**Пенодиатомитовые, диатомитовые и трепельные теплоизоляционные материалы** (ГОСТ 2694—78) изготавливают из смеси молотого диатомита (трепела) и выгорающих (древесные опилки) или порошкообразующих (пена) добавок путем смешивания, формования на прессе, сушки и обжига при температуре 900...1000 °С.

Изделия выпускают в виде кирпичей, скорлуп, сегментов и полуцилиндров. Размеры изделий, мм:

|                                             |                    |
|---------------------------------------------|--------------------|
| Длина кирпичей . . . . .                    | 250 и 230          |
| Ширина » . . . . .                          | 123 и 113          |
| Толщина » . . . . .                         | 65                 |
| Длина сегментов и полуцилиндров . . . . .   | 330                |
| Диаметр изолируемого трубопровода . . . . . | 108, 133, 159, 219 |
| Толщина » . . . . .                         | 65, 70, 80         |
| Длина изолируемого полуцилиндра . . . . .   | 32, 48, 57, 76, 89 |
| Толщина » . . . . .                         | 50, 55, 60 и 65    |

В зависимости от плотности изделия делятся на марки (цифры указывают среднюю плотность материала, кг/м³):

|                            |                 |
|----------------------------|-----------------|
| Пенодиатомитовые . . . . . | ПД-350 и ПД-400 |
| Диатомитовые . . . . .     | Д-500 и Д-600   |
| Трепельные . . . . .       | Т-600 и Т-700   |

Теплопроводность изделий 0,087...0,17 Вт/(м·К) при средней температуре 50 °С, предел прочности при сжатии 0,6...1,0 МПа.

Изделия применяют для теплоизоляции сооружений, трубопроводов и оборудования с температурой поверхности до 900 °С.

*Изделия из ячеистых бетонов теплоизоляционные* (ГОСТ 5742—76)—искусственные камневидные материалы пористой структуры, изготавливаемые в виде блоков и изделий автоклавного и безавтоклавного твердения. Пористая структура ячеистых бетонов получается в результате смешения вяжущего, кремнеземистого компонента с водой и газообразующими добавками (алюминиевая пудра, доломит, известняк совместно с серной кислотой, пергидроль технический) или с отдельно приготовленной стойкой и прочной пеной из различных пенообразующих веществ (клееканифоль, смолосапонин). В зависимости от способа образования в материале пористого замкнутого пространства в виде воздушных пор его делят на газо- и пенобетон. В зависимости от вида применяемых материалов ячеистые бетоны делят на такие группы:

на цементе, цементно-известковом вяжущем с песком (пенобетон, газобетон), с золой (пенозолобетон, газозолобетон);

на молотом гранулированном шлаке с песком (пеношлакобетон, газошлакобетон), с золой (пеношлакозолобетон, газошлакозолобетон);

на извести с песком (пеносиликат, газосиликат), с золой (пенозолосиликат, газозолосиликат);

на гипсе (пеногипс; газогипс);

на магнезиальном цементе (пеномагнезит).

По плотности ячеистые бетоны подразделяют на марки 350 и 400, условно обозначаемые А и Б.

Размеры выпускаемых плит, мм:

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| Длина . . . . .   | 500...1000     |
| Ширина . . . . .  | 400, 500 и 600 |
| Толщина . . . . . | 800...240      |

Размеры по длине кратны 100, а по толщине — 20 мм.

Техническая характеристика изделий:

|                                                                                  |       |       |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| Плотность, кг/м³ . . . . .                                                       | 350   | 400   |
| Предел прочности при сжатии, МПа                                                 |       |       |
| высшей категории качества . . . . .                                              | 0,8   | —     |
| I                   »                   » . . . . .                              | 0,7   | 8,0   |
| Предел прочности при изгибе, МПа                                                 |       |       |
| высшей категории качества . . . . .                                              | 0,3   | —     |
| I                   »                   » . . . . .                              | 0,2   | 0,3   |
| Теплопроводность в сухом состоянии при температуре (25±5) °С, Вт/(м·К) . . . . . | 0,093 | 0,104 |

Отпускная влажность изделий по объему не более 10 %.

Изделия предназначены для утепления строительных конструкций и тепловой изоляции промышленного оборудования при температуре изолируемой поверхности до 400 °С.

**Фольга алюминиевая для технических целей (ГОСТ 618—73 \*)** представляет собой прокатный мягкий (отжигаемый) листовой алюминий марок А00, А0 и А1 толщиной от 5 до 40 мкм в рулонах шириной 460 мм. Для тепловой изоляции ее целесообразно применять в сочетании с воздушными прослойками, причем движение воздуха у поверхности должно быть минимальным. Фольгу применяют в многослойных ограждающих конструкциях для сокращения тепловых потерь за счет большой отражательной способности тепловых лучей. Предельная температура применения 500 °С. При применении фольги в конструкциях следует избегать контакта с влажными металлами или щелочными материалами (цемент, штукатурка), так как это может вызвать коррозию.

### ОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Теплоизоляционные материалы на основе растительного и животного сырья.** *Плиты древесноволокнистые — ДВП* (ГОСТ 45598—74) изготовляют из древесных отходов или низкокачественной неделовой древесины четырех марок в зависимости от предела прочности при изгибе: М — мягкие, ПТ — полутвердые, Т — твердые и СТ — сверхтвердые. Твердые — с лакокрасочным покрытием, нанесенным в заводских условиях на лицевые поверхности (ГОСТ 8904—81).

Древесноволокнистые плиты изготавливают мокрым и сухим способами. Сухой основан на формировании ковра из высушенной древесноволокнистой массы в воздушной среде и горячем прессовании полотен влажностью 5...8 %. Мокрый — на формировании ковра из древесноволокнистой массы в водной среде и горячем прессовании нарезанных из ковра отдельных полотен, находящихся во влажном состоянии при относительной влажности 60...70 %. Сырьем для производства древесноволокнистых плит служат хвойные и лиственные породы, а при сухом способе изготовления — только лиственные.

Мягкие плиты имеют большую пористость и используются для изоляционных целей. Плиты выпускают трех марок: М-4; М-12; М-20.

|           |                                    |
|-----------|------------------------------------|
| Длина .   | 3000, 2700, 2500, 1800, 1600, 1200 |
| Ширина .  | 1700, 1200                         |
| Толщина . | 25, 12, 8                          |

Техническая характеристика древесноволокнистых мягких плит:

|                                            | М-4   | М-12 | М-20  |
|--------------------------------------------|-------|------|-------|
| Плотность, кг/м³ . . . . .                 | 150   | 300  | 350   |
| Предел прочности при изгибе, МПа . . . . . | 0,4   | 1,2  | 2     |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .       | 0,046 | 0,7  | 0,093 |

Влажность плит не более 12 % и водопоглощение за 2 ч не более 30 %. Мягкие плиты применяют для утепления чердачных перекрытий, в малоэтажном строительстве — для утепления кирпичных и железобетонных ограждающих конструкций. Их также используют в стандартном деревянном домостроении для утепления панелей стен, полов, потолков, а также для внутренней облицовки стен, устройства полов.

*Плиты фибролитовые на портландцементе* (ГОСТ 8928—81) изготовляют из смеси древесной стружки, портландцемента и химических добавок путем прессования и твердения. Сырьем для изготовления цементного фибролита служит древесная шерсть, представляющая собой ленты древесины длиной 300...500 мм, шириной 1..6 мм и толщиной 0,1...0,8 мм (ГОСТ 5244—79), портландцемент марки не ниже 400 (ГОСТ 10178—76\*), минерализаторы — хлористый кальций (ГОСТ 450—77\*), сернокислый глинозем или жидкое стекло.

Фибролитовые плиты выпускают следующих размеров, мм:

|         |                      |
|---------|----------------------|
| Длина   | 2400, 3000           |
| Ширина  | 600, 1200            |
| Толщина | 30, 50, 75, 100, 150 |

По согласованию с потребителем допускается изготовление плит других размеров.

В зависимости от назначения плиты подразделяются на три марки:

|       |                                 |   |
|-------|---------------------------------|---|
| Ф-300 | Теплоизоляционный материал      |   |
| Ф-400 | Теплоизоляционно-конструктивный | и |
|       | звукоизоляционный материал      |   |
| Ф-500 | Конструктивно-теплоизоляционный | и |
|       | звукоизоляционный материал      |   |

Техническая характеристика теплоизоляционных фибролитовых плит марки Ф-300:

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>                                | 250...350 |
| Плотность плит, аттестованных по высшей категории качества, кг/м <sup>3</sup> | 250...275 |
| Влажность, % по массе, не более                                               | 20        |
| Предел прочности при изгибе, МПа                                              |           |
| при толщине плиты, мм 50                                                      | 0,6       |
| то же 75                                                                      | 0,4       |
| » 100                                                                         | 0,35      |
| Теплопроводность при $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К)                | 0,08      |
| Водопоглощение, % по массе, не более                                          | 35        |

Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  — 0,08 Вт/(м·К). Влажность плит по массе не более 20 %, а аттестованных по высшей категории качества — не более 15. Теплопроводность плит, аттестованных по высшей категории качества, 0,08 Вт/(м·К), а предел прочности при изгибе на 25 % превышает указанные ранее величины.

Плотность плит марки Ф-400 в сухом состоянии 351...400, а марки 500 — 451...500, соответственно теплопроводность 0,09 и

0,10 Вт/(м·К), предел прочности при изгибе в зависимости от толщины плит (30...100 мм) колеблется от 1,1...0,7 до 1,3...1 МПа.

Плиты трудносгораемы и биостойки. Их применяют для тепловой изоляции наружных ограждающих стен, утепленных покрытий с относительной влажностью воздуха в помещении не выше 75 %.

*Плиты торфяные теплоизоляционные* (ГОСТ 4861—74) изготавливают из слаборазложившегося торфа с содержанием не менее 80 % мха-сфагнума и добавками, повышающими водо- и биостойкость и понижающими горючесть. Материал относится к группе горючих — применяют его при температуре не выше +100 °С.

В зависимости от назначения выпускают следующие торфяные плиты: водостойкие, содержащие водоотталкивающие вещества — гидрофобизаторы; трудносгораемые, содержащие антипирены; биостойкие, содержащие антисептики, и комплексные, совмещающие в себе несколько выше указанных свойств.

В зависимости от плотности торфяные плиты подразделяют на марки: 170, 200, 230 и 260. Соответственно теплопроводность плит 0,052, 0,058; 0,07 и 0,075 Вт/(м·К). Предел прочности при изгибе 0,3...0,4 МПа, содержание влаги не более 15 %.

Плиты выпускают следующих размеров, мм:

|         |           |
|---------|-----------|
| Длина   | 1000      |
| Ширина  | 500, 1000 |
| Толщина | 30        |

Применяют для тепловой изоляции строительных конструкций, холодильников, трубопроводов температурой изолируемой поверхности —60 ... +100 °С, а также склеивают в блоки, состоящие из нескольких плит.

В жилищном строительстве торфяные плиты можно применять для заполнения щитов и каркасов при сборном деревянном домостроении, а также для утепления кирпичных, шлакобетонных стен.

*Плиты камышитовые* изготавливают из стеблей камыша путем прессования и скрепления стальной оцинкованной проволокой. Спелый камыш устойчив против загнивания, так как стебель покрыт защитным слоем кремниевых отложений. В зависимости от расположения стеблей камышитовые плиты изготавливают двух типов: А — с поперечным расположением стеблей; Б — с продольным.

Размеры плит, мм:

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| Длина   | 2400, 2600, 2800      |
| Ширина  | 550, 950, 1150 и 1500 |
| Толщина | 30, 50, 70 и 100      |

Плотность камыша в зависимости от степени прессования

175...250 кг/м<sup>3</sup>

Предел прочности при изгибе

0,5 МПа

Влажность

Не более 18 %

Теплопроводность

0,058...0,093 Вт/(м·К)

Камышит при увлажнении поражается грибами. Во избежание повреждения плит грызунами в нижней части стены их про-

питывают 5 %-ным раствором медного или железного купороса. Камышитовые плиты в открытом пламени не горят, но тлеют. Их применяют для заполнения стен в зданиях каркасной конструкции, в качестве ограждающего и теплоизоляционного материала для стен и покрытий зданий III класса.

*Теплоизоляционные изделия из пробки. Плиты экспанзитовые (ТУ 13-225-75).* Пробковые плиты, скорлупы импрегнированные получают переработкой отходов производства пробки и других изделий из коры пробкового дуба. Плиты экспанзитовые изготовляют из пробковой крупы без связующих добавок путем термической обработки спрессованных изделий при температуре 250...300 °С без доступа воздуха.

|                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Плотность плит . . . . .    | 180, 220 и 250 кг/м <sup>3</sup> |
| Теплопроводность . . . . .  | 0,058...0,007 Вт/(м·К)           |
| Предел прочности при изгибе | 0,15 МПа                         |

Пробковые плиты и скорлупы импрегнированные изготавливают прессованием в формах пробковой крупы с добавкой связующего органического клея, битума или каменноугольного лака с последующей сушкой в формах.

|                                 |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Плотность плит                  | 240 кг/м <sup>3</sup> |
| Теплопроводность                | 0,058 Вт/(м·К)        |
| Предел прочности при изгибе . . | 0,25 МПа              |

Плиты изготовляют различных размеров (преимущественно площадью 1000×500 мм и толщиной 25...120 мм).

Изделия из пробки имеют ограниченное применение, используют их для тепловой изоляции строительных конструкций с предельной температурой —50 ... +100 °С.

*Войлок технический грубошерстный (ГОСТ 6418—81)* изготовляют из смеси отходов коровьей, овечьей и других отходов шерстеобрабатывающей, меховой и хлопчатобумажной отраслей промышленности в виде полотнищ размерами, мм:

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Длина . . . . .            | 1000...3000           |
| Ширина . . . . .           | 500...2000            |
| Толщина . . . . .          | 6...12                |
| Плотность . . . . .        | 160 кг/м <sup>3</sup> |
| Теплопроводность . . . . . | 0,052 Вт/(м·К)        |

Перед применением обрабатывают антисептиком (от моли) и антипиреном (от возгорания). Обладает высоким водопоглощением.

Применяют для изоляции стыков щитов в сборных домах, оконных и дверных коробок в наружных стенах, концов балок в каменных стенах, изоляции холодных трубопроводов, вентиляционных каналов (в качестве прокладок для ослабления мостиков холода) при температуре —60 ... +100 °С.

**Теплоизоляционные материалы на основе пластмасс (пенопласты)** в зависимости от структуры утеплителя могут быть пористые (поропласты), ячеистые или пенные (пенопласты) и сотовые

(сотопласты). Их изготавливают на основе различных полимеров. В зависимости от вида полимерной основы подразделяют на полистирольные, фенолоформальдегидные, карбамидные, полиуретановые и поливинилхлоридные. Возможно изготовление пенопластов на основе совмещенных композиций, а также с использованием органических и минеральных наполнителей. Теплоизоляционные пластмассы изготавливают прессовым и беспрессовым способами, заливкой и напылением на изолируемую поверхность.

Прессовый способ состоит в смешивании смолы с газообразователями и другими компонентами, прессовании полученной массы в пресс-формах при температуре 120...180 °С и под давлением 12...20 МПа и вспенивании полученной заготовки в свободном состоянии (без пресс-форм) при нагревании паром, водой или горячим воздухом до температуры 85...120 °С в зависимости от того какой применяют полимер и какую марку хотят получить.

Беспрессовый способ заключается в смешивании смолы с газообразователем, отвердителем и другими добавками, тепловой обработке смеси в формах для размягчения полимера и разложения газообразователя, вспенивании и отверждении массы. Способ заливки состоит из смешивания массы (смола, газообразователь, отвердитель и другие добавки), заливки ее в форму, вспенивания за счет разложения газообразующих веществ и отверждения.

Способ напыления — смешивание исходных компонентов в специальной машине и нанесение полученной массы с помощью пистолета или форсунки тонким слоем на изолируемую поверхность. Нанесенная масса вспенивается за счет выделения газообразующих веществ и застывает в виде пористого материала.

Теплоизоляционные материалы на основе пластмасс обладают малой тепло- и звукопроводностью, пониженной плотностью, незначительной гигроскопичностью, достаточными прочностью и долговечностью, а также формоустойчивостью.

*Пенопласты на основе полистирола (пенополистирол)* изготавливают марок ПС-1 и ПС-4 (ТУ 6-05-1178-78) прессованием при температуре 150...180 °С с последующим вспениванием монолитных заготовок в гидравлических паровых камерах при температуре 98...108 °С и марок ПСБ; ПСБ-С (ГОСТ 15588—70 \*) — спеканием гранул с последующим раздувом в результате обработки при температуре 95...120 °С. Сырьем для изготовления пенопластов марки ПС служит эмульсионный полистирол марки Б (порошок) и порфиры, а для марок ПСБ — суспензионный (бисерный), состоящий из отдельных марок. Плиты теплоизоляционные марок ПСБ-С выпускают с антипиреном, а ПСБ — без него.

Размеры плит, мм:

|         |                    |
|---------|--------------------|
| Длина   | 600...2000         |
| Ширина  | 500...1600         |
| Толщина | 25, 33, 50, 60, 70 |

Техническая характеристика плит марок ПС-1 и ПС-4

|                                  | ПС-1    |          |           |           | ПС-4      |         |         |
|----------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| Плотность, кг/м³                 | 50...90 | 80...120 | 120... 80 | 180...220 | 300...400 | 40...80 | 50...80 |
| Предел прочности при сжатии, МПа | 0,3     | 0,8      | 1,5       | 3         | 5         | 0,3     | 0,4     |



Материал горит. Водопоглощение за 24 — 0,3 и 0,5 кг/м<sup>2</sup>.

Техническая характеристика плит марок ПСБ и ПСБ-С  
(I категории качества):

|                                                             |      |       |      |      |
|-------------------------------------------------------------|------|-------|------|------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                                | 20   | 25    | 30   | 40   |
| Предел прочности при 10 %-ной деформации сжатия, МПа        | 0,05 | 0,07  | 0,1  | 0,15 |
| Предел прочности при изгибе, МПа                            | 0,07 | 0,1   | 0,13 | 0,18 |
| Теплопроводность, при $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К) |      | 0,038 |      |      |

Плиты марок ПСБ горят, а ПСБ-С не поддерживают горение.

Изделия из полистирола применяют как утеплитель в многослойных ограждающих конструкциях в сочетании с алюминиевыми сплавами, асбестоцементом для изоляции холодильных установок при температуре изолируемой поверхности — 180 ... +70 °С.

Пенопласты на основе фенолформальдегидных смол изготавливают нескольких марок. Наибольшее распространение для тепловой изоляции ограждающих конструкций получили ФРП-1 и резопен (ТУ 86-1696-74 и ГОСТ 22546—77)— жесткие газонаполненные материалы с замкнутой ячеистой структурой. Материал изготавливают смешением двух жидких компонентов в следующих соотношениях, мас. части:

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| Резольная смола ФРВ-1       | 4...6 |
| Продукт ВАГ-3 (отвердитель) | 1     |

Указанную композиционную смесь заливают в полости многослойных ограждающих конструкций. В результате возникающей химической реакции при температуре 15...20 °С и атмосферном давлении смесь вспенивается и отверждается в течение 6...8 мин. Из полученной композиции изготавливают изделия следующих размеров, мм:

|                         |                                  |
|-------------------------|----------------------------------|
| Плиты                   |                                  |
| Длина                   | 600...3000                       |
| Ширина                  | 500...1200 (с интервалом 100)    |
| Толщина                 | 50, 60, 70, 80, 100, 120 и 150   |
| Цилиндры и полуцилиндры |                                  |
| Внутренний диаметр      | 47...221 (275 для полуцилиндров) |
| Длина                   | 1000 и 7500                      |
| Толщина                 | 30...60 (с интервалом 10)        |
| Сегменты                |                                  |
| Внутренний диаметр      | 327...1023                       |
| Длина                   | 1000 и 7500                      |
| Толщина                 | 30...60 (с интервалом 10)        |

Техническая характеристика изделий из пенопласта:

|                                                                      | ФРП-1   | Резопен |       |       |
|----------------------------------------------------------------------|---------|---------|-------|-------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                                         | 40...60 | 50      | 75    | 100   |
| Предел прочности при изгибе, МПа                                     | 0,05    | 0,08    | 0,17  | 0,26  |
| Напряжение при 10 %-ной линейной деформации сжатия, МПа,             | 0,05    | 0,05    | 0,13  | 0,20  |
| Теплопроводность при температуре $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ Вт/(м·К) | 0,046   | 0,041   | 0,043 | 0,046 |

Изделия применяют для тепловой изоляции строительных ограждающих конструкций при температуре изолируемых поверхностей не выше 130°C.

Пенопласты марок ФФ, ФК-20, ФК-40 и ФК-20-А изготавливают (ТУ 6-05-1303-76) беспрессовым способом из смеси фенолформальдегидной смолы (СФ-010/СФ-011), отвердителя (уротропина), газообразователя (порофора 4ХЗ-57) и наполнителей в виде стекловолокна, алюминиевой пудры. ФФ морозостоек и трудносгораем. ФК-20 горюч и упругоэластичен. Плиты размером 480×480×50 мм покрыты бумагой с обрезанными торцами. ФФ применяют в качестве теплоизоляционного материала при температуре изолируемой поверхности —180 ... +150°C, а ФК —180 ... +120°C. Плотность изделий 150...230 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 0,8...1,0 МПа, водопоглощение за 24 ч не более 0,2 кг/м<sup>2</sup>.

Пенопласт ФС-7-2 (ТУ 6-05-958-78) представляет собой газонаполненный материал, изготовленный на основе фенолформальдегидной смолы СФ-010 (СФ-011), твердой фурфуролацетоновой смолы ФА-15 с наполнителем, из стекловолокна или вспученным перлитовым песком, отвердителем и пенообразователем.

Его выпускают в виде плит размерами, мм:

|                                                     |                                                      |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Площадь . . . . .                                   | 1200×1900, 1000×500, 1200×600, 1200×700,<br>1200×900 |
| Толщина . . . . .                                   | 25, 30, 35, 40 и 60                                  |
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> .              | 70 и 100                                             |
| Теплопроводность при температуре (25±5)°С, Вт/(м·К) | 0,052                                                |

В и л а р е с-5 изготавливают (ТУ 6-05-221-244-72) на основе смолы резольного типа ФРВ-4 и вспенивающего агента и продукта ДН на месте применения заливкой жидкой реакционной смеси в форму или полые конструкции с последующим вспениванием и отверждением без внешнего подогрева при атмосферном давлении.

|                                                     |         |
|-----------------------------------------------------|---------|
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup>                | 40...60 |
| Предел прочности при статическом изгибе, МПа        | 0,23    |
| Условный предел прочности при сжатии, МПа           | 0,14    |
| Теплопроводность при температуре (25±5)°С, Вт/(м·К) | 0,058   |

Промышленность выпускает и другие марки пенопластов: ФЛ-1, ФЛ-2 и ФПБ (ТУ 66-20-4-74), которые не нашли широкого применения в строительстве.

Изделия на основе фенолформальдегидных смол трудносгораемы и химически стойки.

*Пенопласты на основе поливинилхлорида* изготавливают прессовым (жесткие ПХВ-1, ПХВ-2 и эластичные ПХВ-Э) и беспрессовым (жесткие ПВ-1) способами. В качестве полимера используют латексные поливинилхлориды марок ПВХ-Л5, ПВХ-Л7, а в качестве газообразователей — порофор 4ХЗ-57, углекислый аммоний и бикарбонат натрия.

Плотность пенопласта ПХВ-1 70...130 кг/м<sup>3</sup>, а ПХВ-2 — 130...220, предел прочности при сжатии соответственно 0,4...0,7 МПа и

0,8...1,5, теплопроводность 0,058 Вт/(м·К). Выпускается в виде плит (ТУ 6-05-1179-75) размерами, мм:

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| Площадь . . . | . 650×650; 620×620, 520×520 |
| Толщина . . . | . 35...70                   |

Используют в качестве теплоизоляционного материала при температуре изолируемой поверхности —60 ... +60 °С. Материал самозатухающий.

Пенопласт ПБ-1 (ТУ 6-05-1158-77) имеет замкнуто-пористую структуру, изготавливается беспрессовым методом. Формуют заготовки, выполняют полимеризацию и вспенивание при температуре 80...140 °С. Выпускают в виде плит размерами, мм:

|                                            |                             |
|--------------------------------------------|-----------------------------|
| Площадь . . . . .                          | . 650×650, 550×550, 400×400 |
| Толщина . . . . .                          | . 35 и 55                   |
| Плотность изделий, кг/м³ . . . . .         | . 50...80 и 80              |
| Предел прочности при сжатии, МПа . . . . . | . 0,3...0,4                 |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .       | . 0,048...0,058             |

Материал не поддерживает горения. Используется для тепловой изоляции при температуре +70 ... —70 °С.

Пенопласт эластичный ПВХ-Э (ТУ 6-05-1269-75) имеет равномерную замкнуто-ячеистую структуру. Плотность 100...300 кг/м³. Трудногораем. Выпускают плиты размерами, мм:

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| Площадь . . . . . | . 650×650, 550×550 |
| Толщина . . . . . | . 42 и 32          |

Применяют для тепловой изоляции ограждающих конструкций, оборудования и трубопроводов при температуре изолируемой поверхности —70 ... +70 °С.

*Пенопласты на основе полиуретанов (пенополиуретаны).* Для теплоизоляции зданий применяют следующие марки: ППУ-3 (ТУ 6-05-221-51-75), ППУ-3с (ТУ 6-05-5109-80), ППУ-3н (ТУ 6-05-221-354-81), ППУ-17Н (ТУ 6-05-221-351-75), ППУ-308н (ТУ 6-05-221-204-76), ППУ-316Н (ТУ 6-05-221-349-75), эластичный ППУ-Э (ТУ 6-05-407-75) и клей КИП-Д (ТУ 6-01-1010-75). Пенополиуретан изготавливают непрерывным способом, заливкой и напылением. Его получают в результате сложных реакций, протекающих при смешивании простого или сложного полиэфира диизоцианата или полиизоцианата (вещество, содержащее уретан), воды в присутствии катализатора — вещества, регулирующего его вспенивание и отверждение, эмульгатора (поверхностно-активных веществ) и добавок.

ППУ-3 — жесткий газонаполненный пластик с мелкочаеистой структурой и преобладанием закрытых ячеек. Изготавливают его в заводских условиях заливкой в формы или в конструкции смеси полиэфира П-3 и продукта ДУДЭГ в присутствии эмульгатора и катализатора.

|                                            |                      |
|--------------------------------------------|----------------------|
| Плотность пластика, кг/м³ . . . . .        | . 50, 100, 150 и 200 |
| Предел прочности при сжатии, МПа . . . . . | . 0,2...2,4          |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .       | . 0,041...0,052      |

Применяют его в качестве заливочного материала в трехслойных конструкциях, а как теплоизоляционный материал — при температуре изолируемой поверхности —180 ... +120 °С.

ППУ-3С — жесткий материал с закрытой ячеистой структурой. Изготавливают его на месте применения смешиванием исходных компонентов. Наносят на изолируемую поверхность напылением. Там он вспучивается и застывает. Выпускают также в виде блоков размераи, мм:

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Длина                             | 80 (+15)      |
| Ширина                            | 600 (±15)     |
| Толщина                           | 100 (+15)     |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>      | 50...70       |
| Предел прочности, МПа, при сжатии | 0,2           |
| растяжении                        | 0,6           |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)        | 0,031...0,037 |

Применяют в качестве тепловой изоляции при температуре изолируемой поверхности —180 ... +60 °С.

ППУ-3Н — жесткий материал с мелкоячеистой структурой, получаемый таким же способом как и ППУ-3с. Трудноогораем.

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>     | 50...80     |
| Предел прочности при сжатии, МПа | 0,2         |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)       | 0,032—0,041 |

Применяют для тепловой изоляции фасонных, криволинейных и трудноогораемых поверхностей конструкций при температуре изолируемой поверхности —150 ... +60 °С.

ППУ-17н — жесткий материал с замкнутойячеистой структурой. Получают смешиванием жидких компонентов, напылением композиции на вертикальные или фасонные открытые поверхности с быстрым (несколько секунд) вспениванием и отверждением при температуре не ниже 5 °С и атмосферном давлении.

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> | 40...70      |
| Предел прочности при изгибе, МПа     | 0,4          |
| То же, при сжатии, МПа               | Не менее 0,2 |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)           | 0,035        |

Материал по огнестойкости относится к группе самозатухающих. Применяют его для тепловой изоляции ограждающих конструкций.

ППУ-308н — жесткий материал с замкнутойячеистой структурой. Получают так же, как ППУ-17н.

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> | 40...60 и 60...80 |
| Предел прочности при изгибе, МПа     | 0,3...0,4         |
| То же, при сжатии, МПа               | 0,2...0,35        |
| Теплопроводность, Вт/(м·К)           | 0,035...0,046     |

По огнестойкости относится к группе трудноогораемых, применяется для тех же целей, что и ППУ-17н.

ППУ-316н — жесткий материал с замкнутойячеистой структурой. Изделия формуют из жидких композиций. Температурный

режим и продолжительность формования устанавливаются в каждом конкретном случае.

|                                                     |                                |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------|
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> . . . . .      | 150...200 (может быть 40...60) |
| Предел прочности при изгибе, МПа . . . . .          | 1,2                            |
| То же, при сжатии, МПа . . . . .                    | 0,9                            |
| (При плотности 40...60 кг/м <sup>3</sup> . . . . .) | 0,2)                           |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .                | 0,058                          |

Материал по огнестойкости относится к группе трудносгораемых.

ППУ-Э —изготавливают путем взаимодействия сложного полиэфира П-2200 с диизоцианатом в присутствии добавок. Материал имеет открытую пористую структуру, сохраняет эластичные свойства при температуре —15 ... +100 °С, негигроскопичен. Для придания ему свойств самозатухания при изготовлении добавляют трихлорэтилфосфат. Относительное удлинение в момент разрыва не менее 150 %, для самозатухающего — 120.

Выпускают материал в виде пластин размерами, мм:

|                                                |                       |
|------------------------------------------------|-----------------------|
| Длина . . . . .                                | 2000, 1850            |
| Ширина . . . . .                               | 750, 850, 1000 и 1600 |
| Толщина . . . . .                              | 3...100               |
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> . . . . . | 25...60               |
| Предел прочности при растяжении, МПа . . . . . | 0,12                  |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .           | 0,032...0,044         |

Материал, пропитанный синтетическими смолами или нефтяными битумами, применяют в качестве герметиков для стыков в панельных конструкциях.

Клей КИП-Д (ТУ 6-01-1010-75) — вспенивающийся материал холодного отверждения. Отличается от известных композиций способностью приклеивать теплоизоляционные материалы к влажным или покрытым инеем поверхностям с диапазоном температуры —10 ... +35 °С, негорюч и малой плотности. Адгезионная прочность клеевого соединения с материалом при сдвиге через 3 сут 0,4 МПа. Обладает масло-, водостойкостью, устойчивостью в тропических условиях и не вызывает коррозии металлов. Его основа — макродиизоцианат и катализатор УП-606/2.

Клей КИП-Д совместно с бутилкаучуковой мастикой гермобутил-1 или гермобутил-УМ (РСТ УССР 5018-81)—хороший вспенивающийся герметик для стыков мобильных (инвентарных) и других зданий.

Пенопласты на основе мочевино-формальдегидных смол (карбамидные) изготавливают из мочевины, водного раствора смеси формальдегида — формалина, глицерина, пенообразователя и фосфорнокислого аммония. К этой группе материалов относится мипора (МРТУ 6-05-1112-79)— жесткий поропласт с открытой ячеистой структурой. Выпускают марки М и Н. Используют в качестве теплоизоляционного материала для заполнения сотовых в трехслойных конструкциях. Выпускают мипору в виде прямоугольных блоков размерами, мм:

|                                                     |              |
|-----------------------------------------------------|--------------|
| Длина . . . . .                                     | 950...1100   |
| Ширина . . . . .                                    | 440...500    |
| Высота . . . . .                                    | 200...300    |
| Плотность материала, кг/м <sup>3</sup> . . . . .    | 10—20        |
| Предел прочности при сжатии, МПа . . . . .          | 0,02...0,035 |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .                | 0,030        |
| Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>3</sup> . . . . . | 1,5...2,5    |
| Температура применения, °С . . . . .                | —180...+100  |

Пенопласты МФП-1, МФП-2 и МФП-3 (ТУ 6-05-221-276-81) состоят из карбамидной смолы типа УКС или МФ-1, АВ0-1, а марки МФП-2 — из карбомидной смолы УКС и М-19-62 и АВ0-2. Получают их путем вспенивания поверхностно-активного вещества вместе с кислым катализатором (ортофосфорной кислотой) и целевыми добавками. В полученную пену вводят разбрызгиваемую под давлением мочевино-формальдегидную смолу, которая фиксирует пеноструктуру.

|                                                     |         |
|-----------------------------------------------------|---------|
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> . . . . .      | 20      |
| Предел прочности при сжатии, МПа . . . . .          | 0,03    |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .                | 0,032   |
| Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>3</sup> . . . . . | 40...60 |

Пенопласт марки БТП-М получают механическим смешиванием карбамидной смолы и пенообразователя с последующим вспениванием, отверждением и сушкой готовой продукции.

|                                                |              |
|------------------------------------------------|--------------|
| Плотность изделий, кг/м <sup>3</sup> . . . . . | 10...14      |
| Предел прочности при сжатии, МПа . . . . .     | 0,01...0,04  |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) . . . . .           | 0,03...0,041 |

Пенополиизоцианурат «Рипор» (ТУ 88 ЛатССР 026-83) изготавливают из смеси А-6ТН и А-6ТЗ, которая в свою очередь, состоит из олигоэфира таллового масла (ТУ 88 ЛатССР 026-83), поверхностно-активного вещества КЭП-2 (предпочтительно марки Б ТУ 6-02-813-73), диметилэтанолamina (ТУ 6-02-1086-77); хладона 11 (ТУ 6-02-727-73); 30 %-ного раствора ацетата калия, изготавливаемого из ацетата калия (ГОСТ 5820—78) и этиленгликома (ГОСТ 10164—75), или полученного из уксусной кислоты (ГОСТ 19814—75) и 50 %-ного раствора едкого калия (ГОСТ 9285—78).

Плотность материала 30...45 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,024—0,026 Вт/(м·К), прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации 0,25...0,4 МПа, водопоглощение без поверхностной пленки за 24 ч при насыщении водой 2,0 объемных проц. или по массе 100 г/м<sup>2</sup>, влагопоглощение материала без поверхностной пленки за 24 ч при относительной влажности воздуха 98 % — 0,04 объемных проц. или по массе 2 г/м<sup>2</sup>. Рабочая температура материала —273...+165 °С. Относится к группе трудносгораемых, не требующих дополнительной огнезащиты. Заключение Минздрава СССР «Рипор» признан нетоксичным, возможен прямой контакт с пищевыми продуктами.

На строительные конструкции материал наносят напылением или заливкой пеногенератором, разработанным специальным кон-

структорско-технологическим бюро Института химии древесины АН ЛатССР. Он обладает высокими адгезионными свойствами ко всем строительным материалам. При заливке на их поверхности образуется прочная влагонепроницаемая пленка, улучшающая эксплуатационные характеристики изделий, что позволяет отказаться от нанесения слоя парогидроизоляции и дополнительной наружной облицовки.

Материал рекомендуется применять для изоляции трубопроводов в жилых, общественных и производственных зданиях, а также для теплоизоляции по месту различных камер, коробов, воздухоборных коробов и оборудования систем вентиляции в помещениях технических этажей.

В жилых зданиях «Рипор» рекомендуется применять для заполнения открытых стыков в панелях наружных стен взамен теплоизоляционных вкладышей, а также герметизации оконных коробов в проемах наружных стен.

Наибольший теплоизоляционный эффект достигается при применении «Рипора» в трехслойных стеновых панелях жилых зданий. Его рекомендуется применять также в покрытиях и панелях одно- и двухэтажных производственных зданий I и II степеней огнестойкости и одноэтажных складских II степени огнестойкости.

*Сотопласты* изготавливают без вспенивания, склеиванием гофрированных листов крафт-бумаги, хлопчатобумажной и стеклоткани, асбестобумаги и алюминиевой фольги, пропитанных фенолформальдегидным или полиэфирным полимером. Они теплостойки, прочны и эффективны для утепления ограждающих конструкций.

#### Техническая характеристика сотопластов

|                                                                          | Бумажный      | Тканевый    |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------|
| Плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .                                   | 20...50       | 50...100    |
| Предел прочности при сжатии, МПа . . . . .                               | 0,17...0,53   | 0,96...4,83 |
| Предел прочности при растяжении, МПа . . . . .                           | 0,44...1,1    | 1,4...3,42  |
| Теплопроводность при $t = (90 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К) . . . . . | 0,049...0,066 | 0,058       |

Теплоизоляционные свойства сотопластов можно повысить, заполняя ячейки мипорой в виде крошки легковспененного карбамидного полимера.

#### ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Теплоизоляционные материалы и изделия изготовляют в соответствии с техническими условиями и ГОСТ 16381—77. Они должны удовлетворять следующим требованиям: обладать теплопроводностью не более 0,175 Вт/(м·К) при температуре  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , а также стабильными физико-механическими и теплотехническими свойствами; иметь плотность не более 600 кг/м<sup>3</sup>; не выделять ток-

сичных веществ и пыли в количестве, превышающем предельно допускаемую концентрацию. Материалы плотностью более  $500 \text{ кг/м}^3$  для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений допускается применять при соответствующих технико-экономических обоснованиях.

Применение материалов, содержащих органические вещества для тепловой изоляции поверхностей при температуре выше  $100^\circ\text{C}$  допускается при соответствующих указаниях в стандартах или технических условиях на отдельные их виды.

Материалы, применяемые для тепловой изоляции ограждающих конструкций холодильников и других зданий с влажным режимом эксплуатации, должны обладать повышенной био- и водостойкостью.

Взаимозаменяемость теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях, прежде всего, зависит от таких показателей: экономическая эффективность (наличие сырья и его стоимость, трудозатраты, стоимость  $1 \text{ м}^2$  теплоизоляционного материала в зависимости от его толщины); физико-механические показатели (плотность, теплопроводность, прочность, водопоглощение, влагостойкость); долговечность, а также удовлетворение требований санитарной гигиены (токсичность). При большой номенклатуре теплоизоляционных материалов трудно найти такие, которые одновременно удовлетворяли бы указанным требованиям. Так, легкие теплоизоляционные материалы малой плотности, как правило, имеют незначительную прочность. Прочные материалы несущих конструкций, наоборот, обладают малой тепловой изоляцией, что связано с их структурой. Прочность твердых тел, как и теплоустойчивость, быстро падает с увеличением их пористости.

Чтобы определить, какой утеплитель следует выбрать для тепловой изоляции ограждающих конструкций, необходимо сопоставить экономические данные взаимозаменяемых материалов.

Институт экономики строительства Госстроя СССР условно разделил все ограждающие конструкции на четыре группы:

- 1) утепленные кровли с рулонным ковром;
- 2) утепленные кровли, покрытые асбестоцементными, стальными, алюминиевыми листами без рулонного ковра;
- 3) кровельные и навесные стеновые панели «сэндвич»;
- 4) навесные стеновые и кровельные конструкции, состоящие из каркасов, обшитых с двух сторон листовыми материалами (асбестоцемент, стальной или алюминиевый лист).

Для первой группы ограждающих конструкций к утеплителям предъявляют требования огнестойкости и стойкости к механическим воздействиям в процессе устройства покрытия и эксплуатации кровли. Для второй группы можно применять теплоизоляционные плиты различной прочности. Для третьей утеплитель должен обладать достаточной адгезией к облицовочным слоям, обеспечивая жесткость конструкций. Для четвертой группы ограждающих конструкций особых требований не предъявляют. Кон-



Т а б л и ц а II.3. Техничко-экономические

| Наименование материала ГОСТ или ТУ | Показатели          |                                                  |                                                                                 |                           |                    |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|
|                                    | Физико-механические |                                                  |                                                                                 |                           | огнестой-<br>кость |
|                                    | плотность,<br>кг/м³ | тепло-<br>про-<br>вод-<br>ность,<br>Вт/<br>(м·К) | прочность<br>при сжа-<br>тии 10 %-<br>ной ли-<br>нейной<br>деформа-<br>ции, МПа | водопо-<br>глощение,<br>% |                    |

## 1. Неорганические теплоизо

|                                                                                               |         |       |                                     |                      |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------------------------------------|----------------------|--------------------|
| Минераловатные материалы                                                                      |         |       |                                     |                      |                    |
| Минеральная вата товарная (ГОСТ 4640—84)                                                      | 75      | 0,045 | Не опреде-                          | Не опреде-           | Трудноско-         |
| Маты прошивные на картоне (ГОСТ 21880—76)                                                     | 100     | 0,044 | —                                   | —                    | раем<br>То же      |
| Маты вертикально-слоистые (ГОСТ 23307—78)                                                     | 100     | 0,053 | —                                   | —                    | »                  |
| Плиты на синтетическом связу-<br>ющем, мягкие (ГОСТ 9573—82)                                  | 75      | 0,046 | —                                   | —                    | »                  |
| То же, жесткие                                                                                | 100     | 0,049 | 0,002                               | —                    | »                  |
| »                                                                                             | 130     | 0,051 | 0,004                               | —                    | Трудноско-<br>раем |
| »                                                                                             | 200     | 0,053 | 0,04                                | 30                   | То же              |
| »                                                                                             | 300     | 0,056 | 0,12                                | 20                   | »                  |
| Плиты повышенной жесткости на<br>синтетическом связующем<br>(ГОСТ 22950—78)                   | 200     | 0,051 | 0,1                                 | 10...40              | »                  |
| Плиты на битумном связующем<br>(ГОСТ 10140—80)                                                | 75      | 0,044 | (При раз-<br>рыве вдоль<br>волокна) | 30                   | Горюч              |
|                                                                                               |         |       | 0,8                                 |                      |                    |
|                                                                                               | 100     | 0,046 | 0,1                                 | 25                   | То же              |
|                                                                                               | 150     | 0,049 | 0,1                                 | 20                   | »                  |
|                                                                                               | 200     | 0,058 | 1                                   | 20                   | »                  |
|                                                                                               | 250     | 0,064 | 1,1                                 | 10                   | »                  |
|                                                                                               | 300     | 0,061 | 1,2                                 | 15                   | Трудноско-<br>раем |
| Плиты твердые на фенолоспирто-<br>вом связующем (ТУ-21 ЛатССР-39-<br>74)                      |         |       |                                     |                      |                    |
| Плиты повышенной жесткости с<br>вертикально-ориентированными во-<br>локнами (ТУ 550.2.104-79) | 125     | 0,053 | 0,025                               | 30                   | То же              |
|                                                                                               | 150     | 0,055 | 0,04                                | 25                   | »                  |
|                                                                                               | 200     | 0,065 | 0,06                                | 15                   | »                  |
| Материалы из базальтового во-<br>локна                                                        |         |       |                                     |                      |                    |
| Мягкие теплоизоляционные плиты<br>(ТУ 21 УССР 814—74)                                         | 110     | 0,041 | —                                   | Не опреде-<br>ляется | Трудноско-<br>раем |
| Теплоизоляционные маты марки<br>АТМ-10 (РСТ УССР 5012-76)                                     | 40...80 | 0,037 | —                                   | То же                | То же              |
| Плиты легкие марки ПМ ТБ (ТУ<br>21 УССР 94-77)                                                | 110     | 0,041 | 0,05                                | »                    | »                  |
| Материалы из штапельного волок-<br>на                                                         |         |       |                                     |                      |                    |
| Маты МС-35; МС-50 (ГОСТ 10499—<br>78)                                                         | 35; 50  | 0,047 | —                                   | 4                    | »                  |
| Плиты жесткие строительные                                                                    |         |       |                                     |                      |                    |
| ПЖЕ-175                                                                                       | 175     | 0,052 | 0,3                                 | —                    | »                  |
| ПЖЕ-200                                                                                       | 200     | 0,057 | 0,4                                 | —                    | »                  |
| Плиты полужесткие строительные                                                                |         |       |                                     |                      |                    |
| ППС-50                                                                                        | 50      | 0,047 | 0,4                                 | 5                    | »                  |
| ППС-75                                                                                        | 75      |       |                                     |                      |                    |
| (ГОСТ 10499—78)                                                                               |         |       |                                     |                      |                    |
| Маты и полосы (ТУ 21-23-72-75)                                                                | 110     | 0,046 | —                                   | 5                    | Трудноско-<br>раем |
|                                                                                               | 150     | 0,049 | —                                   | 5                    | То же              |
|                                                                                               | 170     | 0,052 | —                                   | 5                    | »                  |

## показатели теплоизоляционных материалов

| материала     |                        | Санитарно-гигиенические требования, токсичность материала | Технико-экономические показатели       |                                                                      | Источники ценообразования |
|---------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| долговечности |                        |                                                           | отпускная цена 1 м <sup>3</sup> , руб. | эффективность изоляции при термическом сопротивлении, равном единице |                           |
| биостойкость  | морозостойкость, циклы |                                                           |                                        |                                                                      |                           |

## ляционные материалы

|          |             |                             |      |    |      |                                                    |
|----------|-------------|-----------------------------|------|----|------|----------------------------------------------------|
| Биостоек | Морозостоек | Не токсичен                 | 7,5  | 60 | 0,45 | Средняя цена по стране                             |
| То же    | То же       | То же                       | 16   | 45 | 0,72 | Цена по данным «Мосасбестотермокомбинат»           |
| »        | »           | »                           | 43   | 50 | 2,15 | То же                                              |
| »        | »           | Выделяет токсичные вещества | 14   | 40 | 0,56 | »                                                  |
| »        | »           | То же                       | 16   | 45 | 0,72 | »                                                  |
| Биостоек | Морозостоек | Выделяет токсичные вещества | 19   | 50 | 0,95 | Цена по данным «Мосасбестотермокомбинат»           |
| То же    | То же       | То же                       | 22   | 55 | 1,21 | То же                                              |
| »        | »           | »                           | 25   | 60 | 1,50 | »                                                  |
| »        | »           | »                           | 48,1 | 50 | 2,45 | Цена по данным Коммунарского з-да Стройконструкция |
| »        | »           | »                           | 28   | 40 | 1,12 | Цена взята по себестоимости изделий                |
| »        | »           | »                           | 28   | 45 | 1,3  | То же                                              |
| »        | »           | »                           | 30   | 50 | 1,5  | »                                                  |
| »        | »           | »                           | 32   | 55 | 1,76 | »                                                  |
| »        | »           | »                           | 33   | 60 | 1,98 | »                                                  |
| »        | »           | »                           | 47   | 60 | 2,82 | Цена по данным ВНИИтеплонизоляция                  |
| »        | »           | Не токсичен                 | 50   | 45 | 2,25 | То же                                              |
| »        | »           | То же                       | 50   | 50 | 2,5  | »                                                  |
| »        | »           | »                           | 35   | 55 | 1,75 | »                                                  |
| Биостоек | Морозостоек | Не токсичен                 | 420  | 50 | 21   | Цена Кострыжевского комбината стройматериалов      |
| То же    | То же       | То же                       | 450  | 40 | 18   | То же                                              |
| »        | »           | »                           | 496  | 50 | 24,8 | »                                                  |
| »        | »           | »                           | 10,7 | 40 | 0,48 | Прейскурант 06-02 п. 8-005                         |
| »        | 35          | »                           | 35   | 45 | 1,6  | То же, п. 8-001                                    |
| »        | 35          | »                           | 40   | 50 | 2    | п. 8-002                                           |
| »        | 35          | »                           | 12,8 | 35 | 0,44 | То же, п. 8-003                                    |
| »        | 35          | »                           | 16,6 | 40 | 0,66 | п. 8-004                                           |
| Биостоек | 35          | Выделяет токсичные вещества | 43   | 45 | 1,9  | То же, п. 8-026                                    |
| То же    | 35          | То же                       | 43   | 50 | 2,1  | п. 8-027                                           |
| »        | 35          | То же                       | 43   | 52 | 2,2  |                                                    |

| Наименование материала ГОСТ<br>или ТУ                                      | Показатели                      |                                                  |                                                                                 |                           |                    |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------|
|                                                                            | физико-механические             |                                                  |                                                                                 |                           | огнестой-<br>кость |
|                                                                            | плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | тепло-<br>про-<br>вод-<br>ность,<br>Вт/<br>(м·К) | прочность<br>при сжа-<br>тии 10 %-<br>ной ли-<br>нейной<br>деформа-<br>ции, МПа | водопо-<br>глощение,<br>% |                    |
| Стекловолоконные плиты (ТУ 400-1-28-74)                                    | 200                             | 0,052                                            | —                                                                               | 5                         | »                  |
| Стекловолоконные плиты, упакованные в полиэтиленовую пленку (ТУ-401-83-77) | 100                             | 0,046                                            | —                                                                               | 5                         | »                  |
| Материал теплозвукоизоляционный АТИМСС (ТУ 17 РСФСР 3919-75)               | 50                              | 0,035                                            | —                                                                               | 5                         | Самозатухающ       |
| Пеностекло (РСТ БССР 665-82)                                               | 230                             | 0,093                                            | 0,7                                                                             | 6                         | Трудноско-<br>раем |
| Изделия известково-кремнеземистые теплоизоляционные (ГОСТ 24748—81)        | 200                             | 0,058                                            | 0,35                                                                            | 40...45                   | То же              |
| Совелит (ТУ 36-131-77)                                                     | 350                             | 0,079                                            | 0,2                                                                             | —                         | »                  |
| Изделия из песка перлитового вспученного                                   |                                 |                                                  |                                                                                 |                           |                    |
| Теплоизоляционные перлитцементные (ГОСТ 18109—80)                          | 250                             | 0,070                                            | 0,22                                                                            | —                         | »                  |
|                                                                            | 300                             | 0,075                                            | 0,24                                                                            | —                         | Трудноско-<br>раем |
| Перлитокерамические (ГОСТ 21521—76)                                        | 350                             | 0,081                                            | 0,26                                                                            | 126                       | То же              |
|                                                                            | 250                             | 0,058                                            | 0,3                                                                             | 200                       | »                  |
|                                                                            | 300                             | 0,081                                            | 0,5                                                                             | 180                       | »                  |
|                                                                            | 350                             | 0,093                                            | 0,7                                                                             | 150                       | »                  |
|                                                                            | 400                             | 0,104                                            | 1,0                                                                             | 130                       | »                  |
| Битумоперлит (ГОСТ 16136—80)                                               | 250                             | 0,075                                            | 0,15                                                                            | 5                         | Самозатухающ       |
|                                                                            | 300                             | 0,087                                            | 0,15                                                                            | 5                         | То же              |
|                                                                            | 350                             | 0,099                                            | 0,15                                                                            | 5                         | »                  |
|                                                                            | 400                             | 0,11                                             | 0,2                                                                             | 5                         | »                  |
| Перлитофосфогелевые теплоизоляционные (ГОСТ 21500—76)                      | 200                             | 0,064                                            | 0,4                                                                             | 5                         | Трудноско-<br>раем |
|                                                                            | 250                             | 0,075                                            | 0,5                                                                             | 5                         | То же              |
|                                                                            | 300                             | 0,081                                            | 0,6                                                                             | 5                         | »                  |
| Из перлитового обжигового легковеса (ПОЛ) (ТУ 21-34-4-73)                  | 100                             | 0,058                                            | 0,17                                                                            | —                         | »                  |
| Из ячеистых бетонов теплоизоляционные (ГОСТ 5742—76)                       | 200                             | 0,81                                             | 0,6                                                                             | —                         | »                  |
|                                                                            | 350                             | 0,093                                            | 0,7                                                                             | 21—30<br>(через<br>3 сут) | »                  |
|                                                                            | 400                             | 0,104                                            | 0,8                                                                             | То же                     | »                  |

## 2. Органические теплоизоляционные материалы

|                                                          |           |                  | (при из-<br>гибе) | (за 2 ч) | Горюч                   |
|----------------------------------------------------------|-----------|------------------|-------------------|----------|-------------------------|
| Плиты древесноволокнистые ДВП (ГОСТ 4598—74 *)           | 150       | 0,046            | 0,4               | 30       |                         |
|                                                          | 300       | 0,07             | 1,2               | 30       | То же                   |
|                                                          | 350       | 0,093            | 20                | 30       | »                       |
| Плиты фибролитовые на портландцементе (ГОСТ 8928—81)     | 300       | 0,07             | 0,4...0,6         | 60       | Трудноско-<br>раем      |
|                                                          | 400       | 0,09             | 0,7...1,1         | 35       | То же                   |
| Плиты экспанзитовые (ТУ-13-225-75)                       | 180...220 | 0,058...<br>0,07 | 0,15*             | 15       | Горюч                   |
| Теплоизоляционные материалы на основе пластмасс:         |           |                  |                   |          |                         |
| Пенополистирол марки ПСБ-С-40 (ГОСТ 15588—70 *)          | 40        | 0,038            | 0,18              | 125      | То же                   |
| Пенополиуретан «Снспур» (ТУ 67-78-75; ТУ 21 ЭССР 109-76) | 50        | 0,039            | 0,2               | 15       | Самозатухающ            |
| ППУ-3 (ТУ 6-05-221-51-75)                                | 50        | 0,041            | 0,2               | 25       | Горюч                   |
| ППУ-17н (ТУ 6-05-221-351-75)                             | 40        | 0,035            | 0,2               | 18       | Самозатухающ            |
| ППУ-316н (ТУ-6-05-221-349-75)                            | 150       | 0,058            | 0,9               | 4        | Трудновос-<br>пламеняем |

| материала                  |                        |  | Санитарно-гигиенические требования, токсичность материала | Технико-экономические показатели |                                                                      |                               | Источники ценообразования                |
|----------------------------|------------------------|--|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| долговечности              |                        |  |                                                           | отпускная цена 1 м³, руб.        | эффективность изоляции при термическом сопротивлении, равном единице |                               |                                          |
| биостойкость               | морозостойкость, циклы |  |                                                           |                                  | Толщина, мм                                                          | Приведенная стоимость, руб/м² |                                          |
| »                          | 35                     |  | Не токсичен                                               | 60                               | 45                                                                   | 4.05                          | Цена по данным «Мосасбестотермокомбинат» |
| »                          | 35                     |  | То же                                                     | 32                               | 45                                                                   | 3                             | То же                                    |
| »                          | 35                     |  | »                                                         | 1,75                             | 40                                                                   | 0.07                          | Прейскурант 06-02 п. 8-016               |
| »                          | 35                     |  | »                                                         | 25                               | 55                                                                   | 1.48                          | Средняя цена по стране                   |
| »                          | Морозостоек            |  | »                                                         | 43,6                             | 50                                                                   | 2.2                           | То же                                    |
| »                          | То же                  |  | »                                                         | 38,2                             | 65                                                                   | 2.5                           | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 19,9...48,6                      | 70                                                                   | 1,4...3,9                     | »                                        |
| Бнестоек                   | Морозостоек            |  | Не токсичен                                               | 19,9...48,6                      | 75                                                                   | 1,4                           | Средняя цена по стране                   |
| То же                      | То же                  |  | То же                                                     | 19,9...48,6                      | 80                                                                   | 3,9                           | То же                                    |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 41,0                             | 70                                                                   | 2,9                           | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 43                               | 75                                                                   | 2,2                           | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 55                               | 80                                                                   | 4,4                           | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 60                               | 85                                                                   | 5,1                           | »                                        |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 20                               | 70                                                                   | 1,4                           | »                                        |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 23                               | 75                                                                   | 1,12                          | »                                        |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 24                               | 80                                                                   | 1,92                          | »                                        |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 25                               | 85                                                                   | 2,12                          | То же                                    |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 50                               | 60                                                                   | 3                             | Цена завода                              |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 52                               | 70                                                                   | 3,64                          | «Перлит»                                 |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 55                               | 80                                                                   | 4,4                           | (Мытищи)                                 |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 23                               | 45                                                                   | 1,04                          | По данным НИИСМИ                         |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 25                               | 50                                                                   | 1,25                          | Средняя цена по стране                   |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 47,5                             | 75                                                                   | 3,5                           | »                                        |
| »                          | 25                     |  | »                                                         | 50                               | 80                                                                   | 4                             | То же                                    |
| Бнестоек (с антипиреном)   | Не морозостоек         |  | »                                                         | (За 100 м²)                      | 50                                                                   | 1,38                          | Прейскурант 07-06 п. 1450                |
| То же                      | То же                  |  | »                                                         | 690                              | 60                                                                   | 1,38                          | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 1050                             | 70                                                                   | 1,38                          | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | 14,6...17,0                      | 60                                                                   | 0,87                          | Средняя цена по стране                   |
| »                          | »                      |  | »                                                         | »                                | 65                                                                   | 1,10                          | »                                        |
| Медленно поражаются грибом | Морозостоек            |  | Не токсичен                                               | 130                              | 50                                                                   | 6,5                           | Цена на Одесском линолеумном заводе      |
| То же                      | То же                  |  | То же                                                     | 42                               | 40                                                                   | 1,68                          | Цена по прейскуранту 05-01 п. 14-033     |
| Бнестоек                   | »                      |  | »                                                         | 95                               | 40                                                                   | 3,75                          | То же                                    |
| То же                      | »                      |  | »                                                         | —                                | 40                                                                   | —                             | доп. 32 п. 19-19                         |
| »                          | »                      |  | »                                                         | —                                | 40                                                                   | —                             | »                                        |
| »                          | »                      |  | »                                                         | —                                | 50                                                                   | —                             | »                                        |

| Наименование материала ГОСТ<br>или ТУ                            | Показатели          |                                                  |                                                                                 |                                                                      |                                   |
|------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                  | Физико-механические |                                                  |                                                                                 |                                                                      | огнестой-<br>кость                |
|                                                                  | плотность,<br>кг/м³ | тепло-<br>про-<br>вод-<br>ность,<br>Вт/<br>(м·К) | прочность<br>при сжа-<br>тии 10 %-<br>ной ли-<br>нейной<br>деформа-<br>ции. МПа | водопо-<br>глощение,<br>%                                            |                                   |
| Пенополиизоцианурат «Рипор»<br>(ТУ 88 ЛатССР 026-83)             | 30                  | 0,024                                            | 0,25                                                                            | —                                                                    | То же                             |
| Пенопласты на основе фенольно-<br>резольных смол (ГОСТ 20916—75) | 45                  | 0,026                                            | 0,4                                                                             | —                                                                    | »                                 |
|                                                                  | 75                  | 0,043                                            | 0,035                                                                           | При от-<br>носитель-<br>ной во-<br>локнисто-<br>сти 98+<br>+2 % — 25 | Трудноско-<br>раем                |
| ФРП-1 (ТУ-86-1696-74)                                            | 100                 | 0,046                                            | 0,10                                                                            | 20                                                                   | »                                 |
| Резопен (ТУ-86-22546-77)                                         | 50                  | 0,041                                            | 0,05                                                                            | При отно-<br>сительной<br>волокну-<br>стости 98+<br>+2 %             | Трудноско-<br>раем                |
| То же                                                            | 75                  | 0,043                                            | 0,13                                                                            | 45                                                                   | То же                             |
| »                                                                | 100                 | 0,045                                            | 0,20                                                                            | 45                                                                   | »                                 |
| ФФ                                                               | 150                 | —                                                | 0,8                                                                             | 5                                                                    | »                                 |
| Фк-20 (ТУ 6-05-1303-76)                                          | 150                 | —                                                | 0,8                                                                             | 5                                                                    | Горюч                             |
| Пенопласты на основе поливинил-<br>хлорида                       |                     |                                                  |                                                                                 |                                                                      |                                   |
| ПХВ-1                                                            | 70...130            | 0,058                                            | 0,4...0,7                                                                       | 5                                                                    | Не поддер-<br>живает го-<br>рения |
| ПХВ-2                                                            | 130...220           | 0,058                                            | 0,8...1,5                                                                       | 3                                                                    | Поддержива-<br>ет горение         |
| (ТУ 6-65-1158-77)                                                | 50                  | 0,048                                            | 0,3                                                                             | 12                                                                   | То же                             |
| Пенопласты на основе формальде-<br>гидных смол (карбамидные)     |                     |                                                  |                                                                                 |                                                                      |                                   |
| Мипора (МРТУ 6-05-1112-79)                                       | 10...20             | 0,035                                            | 0,025                                                                           | 300                                                                  | Самозатү-<br>хающ                 |
| МФП-1; МФП-2; МФП-3<br>(ТУ 6-05-221-276-81)                      | 20                  | 0,035                                            | 0,015                                                                           | 300                                                                  | То же                             |

\* Через 20 сут выдерживания в воде.

струкции можно изготавливать как в заводских условиях, так и на строительной площадке.

Вопросы взаимозаменяемости теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях следует решать, сопоставляя их технико-экономические показатели (табл. II. 3).

### III. ЭФФЕКТИВНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

#### КЛАССИФИКАЦИЯ

Наружные ограждающие конструкции зданий и сооружений классифицируют по следующим признакам:

- по количеству слоев — однослойные и слоистые;
- по степени тепловой инерции (см. гл. I);

| материала     |                        | Санитарно-гигиенические требования, токсичность материала | Технико-экономические показатели |                                                                      |                               | Источники ценообразования  |
|---------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| долговечности |                        |                                                           | отпускная цена 1 м³, руб.        | эффективность изоляции при термическом сопротивлении, равном единице |                               |                            |
| биостойкость  | морозостойкости, циклы |                                                           |                                  | Толщина, мм                                                          | Приведенная стоимость, руб/м² |                            |
| »             | »                      | »                                                         | 50                               | 35                                                                   | 1,7                           | »                          |
| »             | »                      | »                                                         | 65                               | 35                                                                   | 2,28                          | »                          |
| »             | »                      | Выделяет токсичные вещества                               | 75                               | 45                                                                   | 3,3                           | Прейскурант 05-01 п. 1-111 |
| »             | »                      | »                                                         | —                                | 45                                                                   | 3,30                          | »                          |
| Биостоек      | Морозостоек            | То же                                                     | —                                | 40                                                                   | 2...2,9                       | Прейскурант 05-02          |
| То же         | То же                  | »                                                         | —                                | 45                                                                   | 2,29                          | п. 1-113 п. 1-114          |
| »             | »                      | »                                                         | За 1 т смолы                     | 45                                                                   | 2,29                          |                            |
| »             | »                      | »                                                         | 1400                             | 50                                                                   | 3,8...4                       |                            |
| »             | »                      | »                                                         | 1750                             | 50                                                                   | 3,8...4                       |                            |
| »             | »                      | »                                                         | 170                              | 45...50                                                              | 6,1...6,2                     | То же п. 11-057            |
| »             | »                      | »                                                         | 200                              | 50...60                                                              | 5,4...6,1                     |                            |
| »             | »                      | »                                                         | 1400                             | 40                                                                   |                               | п. 11—057                  |
| »             | »                      | »                                                         | 8,0                              | 20                                                                   | 1,6                           | То же, п. 2-026            |
| »             | »                      | »                                                         | 10,0                             | 20                                                                   | 2,0                           |                            |

по долговечности (I степень — срок службы не менее 100 лет, II — 50, III — 20 конструкции мобильных (инвентарных) зданий — 10...20);

по пределу огнестойкости конструкции и пределу распространения в ней огня;

по конструкции стыков и связей между наружными ограждениями и перегородками здания;

по характеру работы при восприятии вертикальной нагрузки (несущие, самонесущие, ненесущие);

по особенностям монтажа (одинарные и составные);

по наличию или отсутствию экранов;

по наличию или отсутствию примыканий к наружным ограждениям летних помещений;

по расположению в плане здания (продольные или торцовые).

По назначению в здании панели подразделяются: для подземных этажей, для цокольного этажа и технического подполья, а также для чердака;

по конструктивному решению: цельные (цельность конструкций создается в процессе ее формования — без последующего соединения отдельных армированных бетонных и других основных элементов между собой) и составные. Составная панель состоит из нескольких отдельно изготовленных армированных бетонных элементов и цельность ее создается соединением этих элементов с помощью соединительных изделий или другим способом.

По типам панели подразделяют:

1НС...Цельные однослойные  
2НС...Цельные двухслойные  
3НС...Цельные трехслойные  
4НС...Составные однослойные  
5НС...Составные двухслойные  
6НС...Составные трехслойные

Для покоевого этажа или технического подполья

1НЦ...Цельные однослойные  
2НЦ...Цельные двухслойные  
3НЦ...Цельные трехслойные  
5НЦ...Составные двухслойные  
6НЦ...Составные трехслойные

Для чердака

1НЧ...Цельные однослойные  
2НЧ...Цельные двухслойные  
3НЧ...Цельные трехслойные  
4НЧ...Составные однослойные  
5НЧ...Составные двухслойные  
6НЧ...Составные трехслойные

Однослойные ограждающие конструкции классифицируют по виду основного материала: бетонные, железобетонные, кирпичные и т. п.

Однослойные бетонные и железобетонные панели в свою очередь подразделяют по следующим признакам:

по структуре бетона (плотной структуры, крупнопористого малопесчаного или беспесчаного, поризованного, ячеистого);

по средней плотности (тяжелый — 2200...2500 кг/м<sup>3</sup>, облегченный — 1800...2200, легкий — 500...1800);

по виду заполнителей (на плотных и пористых заполнителях).

Слоистые панели классифицируют по следующим признакам:

по количеству основных слоев (двухслойные, трехслойные, многослойные);

по материалу внутреннего и наружного слоев (бетонные, металлические, стеклопластиковые, дерево-металлические);

по наличию или отсутствию пустот или воздушных прослоек.

Традиционные панели с бетонными внутренними и наружными слоями подразделяют:

по податливости связей между наружными и внутренними армированными бетонными слоями (с жесткими или гибкими связями);

по конструкции связей (с отдельными связями — металлическими или шпоночными из армированного бетона; со связями из армированных бетонных ребер — монолитных или сборных, со сплошными или со сквозными отверстиями; с жесткой связью по всей плоскости контакта бетонных слоев со слоем утеплителя).

Облегченные ограждающие конструкции подразделяют по характеру их изготовления (заводской готовности, полистовой сбор-

ки), конструкции каркаса (металлический, пластиковый, дерево-металлический и т. п.).

Ограждения с воздушными прослойками подразделяют на конструкции с вентилируемыми (со сквозным и несквозным проветриванием) и неветилируемыми прослойками.

## **ПАНЕЛИ СТЕНОВЫЕ НАРУЖНЫЕ БЕТОННЫЕ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ И КИРПИЧНЫЕ**

Панели бетонные и железобетонные из легкого автоклавного ячеистого и тяжелого бетонов для наружных стен жилых и общественных зданий изготовляют в соответствии с ГОСТ 11024—84.

Типы, конструкцию и размеры деревянных окон и дверей, предназначенных для установки в панели принимают: с двойным остеклением по ГОСТ 11214—78, с тройным — по ГОСТ 16289—80, со стклопакетами — по ГОСТ 24700—81, со стклопакетами и стеклами — по ГОСТ 24699—81, наружных дверей — по ГОСТ 24698—81.

Для основных слоев панелей, а также связей в трехслойных панелях, принимают бетоны в зависимости от видов, структур и классов или марок по прочности на сжатие. Для основного слоя однослойных и внутреннего слоя двухслойных панелей с экраном принимают плотную структуру с объемом межзерновых пустот  $V_n$  и вовлеченного воздуха  $V_v$  в уплотненной бетонной смеси  $V_n \geq 6\%$ ,  $V_v \leq 6\%$  от общего объема этой смеси и классе бетона по прочности на сжатие: В 3,5; В 5; В 7,5; В 10; В 12,5; марке бетона по прочности на сжатие: М 50, М 75, М 100 и М 150; при плотной и поризованной структуре  $6\% < V_v \leq 12\%$  и классе бетона по прочности на сжатие В 3,5; В 5; В 7,5, марке бетона по прочности на сжатие: М 50; М 75, М 100.

Для несущего слоя двухслойной сплошной панели из тяжелого и легкого бетона, внутреннего и наружного слоев трехслойной сплошной панели и внутреннего слоя и экрана двух- и трехслойной панелей с экраном следует применять плотную структуру при  $V_n \leq 3\%$ , для тяжелого бетона В 12,5 и выше, М 150 и выше, для легкого бетона В 7,5 и выше, М 100 и выше.

Для однослойных панелей из автоклавного ячеистого бетона структура ячеистая; В 1,5; В 2,5; В 3,5; В 5; В 7,5 и М 25, М 50, М 75, М 100.

Для теплоизоляционного слоя двухслойной сплошной панели из легкого бетона допускается структура крупнопористая В 2; 5; В 3,5 и М 35; М 50 и плотная при  $V_n \leq 6\%$  и  $V_v \leq 6\%$ ; В 3,5; В 5 и М 50; М 75.

Для сплошных трехслойных панелей с внутренним слоем толщиной не менее 150 мм допускается принимать легкий бетон плотной структуры с  $V_n \leq 6\%$  и  $V_v \leq 6\%$  класса по прочности на сжатие не ниже В3,5 или марки по прочности на сжатие не ниже М 50.

Легкий бетон плотной структуры с объемом межзерновых пустот в уплотненной смеси более 3%, но не более  $3\% < V_n \leq 6\%$ ,



Т а б л и ц а III.1. Теплопроводность легкого бетона в сухом состоянии (по

| Вид легкого бетона                                            | Теплопроводность Вт/(м·К) при |       |       |       |       |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                                               | Пл200                         | Пл300 | Пл400 | Пл500 | Пл600 |
| <b>Бетоны на искусственных крупных пористых заполнителях:</b> |                               |       |       |       |       |
| керамзитобетон и поризованный керамзитоперлитобетон           | —                             | —     | —     | 0,14  | 0,16  |
| керамзитобетон на перлитовом песке                            | —                             | —     | —     | —     | —     |
| керамзитобетон на плотном кварцевом песке                     | —                             | —     | —     | —     | —     |
| шунгизитобетон                                                | —                             | —     | —     | —     | —     |
| аглопоритобетон на топливном (котельном) шлаке                | —                             | —     | —     | —     | —     |
| шлакобетон на доменном гранулированном шлаке                  | —                             | —     | —     | —     | —     |
| шлакопемзобетон                                               | —                             | —     | —     | —     | —     |
| поризованный шлакопемзопенобетон и шлакопемзогазобетон        | —                             | —     | —     | —     | —     |
| бетон на зольном гравии                                       | —                             | —     | —     | —     | —     |
| перлитобетон                                                  | —                             | 0,09  | 0,1   | 0,11  | 0,12  |
| вермикулитобетон                                              | 0,075                         | 0,08  | 0,09  | 0,12  | 0,14  |
| <b>Бетоны на природных пористых заполнителях:</b>             |                               |       |       |       |       |
| туфтобетон                                                    | —                             | —     | —     | —     | —     |
| немзобетон                                                    | —                             | —     | —     | —     | —     |
| бетон на вулканическом шлаке                                  | —                             | —     | —     | —     | —     |

допускается принимать для панелей, расположенных на участках стены, защищенных от воздействия атмосферных осадков, а на других участках — в зависимости от параметров наружного защитно-декоративного слоя и характера климатических воздействий на панели.

Для основного слоя однослойных панелей и внутреннего слоя двухслойных с экраном принимают легкий бетон на пористом песке, золе ТЭС, золошлаковой смеси или без мелкого заполнителя в случаях, когда этот слой выполняют из поризованного беспесчаного бетона.

Для теплоизоляционного слоя сплошных двухслойных панелей принимают легкий бетон на пористом песке или без мелкого заполнителя в случаях, когда он имеет крупнопористую структуру.

Допускается принимать для основного слоя однослойных панелей и внутреннего слоя двухслойных с экраном легкий бетон с плотным песком при технико-экономическом обосновании и обеспечении абсолютно всех требований к панелям и бетону, установленных ГОСТ 11024—84 и проектной документацией, и при условии обязательной поризации растворной части бетона воздухововлекающими добавками, регулирующими пористость бетонной смеси.

марке бетона по средней плотности

| Пл700 | Пл800 | Пл900 | Пл1000 | Пл1100 | Пл1200 | Пл1300 | Пл1400 | Пл1500 | Пл1600 | Пл1700 | Пл1800 |
|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,19  | 0,21  | 0,24  | 0,27   | 0,32   | 0,36   | 0,42   | 0,47   | 0,53   | 0,58   | 0,62   | 0,66   |
| —     | 0,22  | 0,25  | 0,28   | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| —     | 0,23  | 0,28  | 0,33   | 0,37   | 0,41   | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| —     | —     | —     | 0,27   | 0,32   | 0,36   | 0,43   | 0,49   | —      | —      | —      | —      |
| —     | —     | —     | 0,29   | 0,32   | 0,35   | 0,41   | 0,47   | 0,53   | 0,58   | 0,64   | 0,7    |
| —     | —     | —     | —      | —      | 0,35   | 0,38   | 0,411  | 0,44   | 0,47   | 0,53   | 0,58   |
| —     | —     | —     | 0,23   | 0,26   | 0,29   | 0,32   | 0,35   | 0,38   | 0,41   | 0,47   | 0,52   |
| —     | 0,17  | 0,2   | 0,23   | 0,26   | 0,29   | 0,32   | 0,35   | 0,41   | 0,47   | —      | —      |
| —     | —     | —     | —      | 0,24   | 0,30   | 0,35   | 0,41   | 0,47   | —      | —      | —      |
| 0,14  | 0,16  | 0,19  | 0,22   | 0,26   | 0,29   | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| 0,18  | 0,21  | —     | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      | —      |
| —     | —     | —     | —      | —      | 0,29   | 0,35   | 0,41   | 0,47   | 0,52   | 0,58   | 0,64   |
| —     | 0,19  | 0,23  | 0,26   | 0,30   | 0,34   | 0,38   | 0,42   | 0,47   | 0,52   | —      | —      |
| —     | 0,20  | 0,22  | 0,24   | 0,29   | 0,33   | 0,37   | 0,41   | 0,47   | 0,52   | —      | —      |

Теплопроводность бетона в сухом состоянии, устанавливаемую в проектной документации на конкретные здания, при оценке результатов контроля теплопроводности, принимают для автоклавного ячеистого бетона по ГОСТ 25485—82, а для легкого бетона — по обязательному приложению к ГОСТ 11024—84 (табл. III.1). Данные табл. III.1 используют для оценки результатов контроля теплопроводности.

Теплопроводность бетонов плотной структурой с объемом межзерновых пустот и пор вовлечения воздуха в уплотненной бетонной смеси не более 6 % ( $V_n < 6\%$ ,  $V_v \leq 6\%$ ), поризованных бетонов и плотных с  $6 < V_v \leq 12\%$  принимают по табл. III.1.

Виды отделки наружных (фасадных) поверхностей однослойных панелей из легкого бетона и слоистых панелей с наружным основным слоем из тяжелого или легкого бетона: облицовка плитками керамическими, стеклянными или из природного камня; отделка декоративным бетоном с обнаженным заполнителем; отделка слоем раствора или бетона с рельефной или ровной гладкой поверхностью; присыпка или выполнение декоративного слоя из щебня или другого материала; отделка керамической глазурью и окраска атмосферостойкими красками.

Номинальную толщину бетона или раствора в наружном защитно-декоративном слое однослойных панелей из легкого бетона

и слоистых с наружным слоем из легкого или тяжелого бетона при отсутствии облицовки принимают, мм, не менее:

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В сплошных трехслойных панелях . . . . .                                                                                                                                                     | 15 |
| В однослойных панелях (кроме панелей для цокольного этажа и технического подполья) и в сплошных двухслойных с наружным теплоизоляционным слоем из легкого бетона плотной структуры . . . . . | 20 |
| В однослойных панелях для цокольного этажа и технического подполья и сплошных двухслойных с наружным теплоизоляционным слоем из легкого бетона крупнопористой структуры . . . . .            | 30 |

В однослойных панелях из легкого бетона и слоистых с внутренним основным слоем из бетона этого вида предусматривают внутренний отделочный слой.

Номинальную толщину раствора во внутреннем отделочном слое панелей принимают не более, мм:

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В панелях, предназначенных для стен помещений с сухим или нормальным режимом . . . . . | 15 |
| То же, с влажным режимом . . . . .                                                     | 20 |

В однослойных панелях из автоклавного ячеистого бетона предусматривают наружный защитно-декоративный слой. Вид и параметры его принимают в соответствии с требованиями СН 277-80.

Марки бетона и раствора панелей по морозостойкости принимают согласно СНиП 2-03.01—84, ГОСТ 25820—83, ГОСТ 25485—82 и ГОСТ 11024—84.

Керамзитобетонные составляют около 30 % всех производимых в стране однослойных бетонных панелей. Наиболее распространены панели из керамзитобетона на кварцевом песке. Требуемая толщина наружной ограждающей конструкции при одной и той же средней плотности керамзитобетона на кварцевом песке должна быть на 19 % больше чем на керамзитовом [67].

Производство керамзитового гравия характеризуется повышенной энергоемкостью. На производство 1 м<sup>3</sup> керамзита или шунгизита затрачивается в среднем 100 кг усл. топл., аглопорита — 94, гранулированного пеностекла — 60, вспученного перлита — 39 [30].

Металлургические шлаки и золы — это отходы промышленности, для получения которых не требуется энергетических затрат. При их использовании в качестве мелкого заполнителя в производстве легких бетонов энергоемкость ограждающих конструкций снижается, экономится около 1 млн. т цемента [30] (одновременно экономится около 200 кг усл. топл., расходуемого на его производство).

Автоклавные ячеистые бетоны более эффективны по энергоемкости чем легкие бетоны: на производство 1 м<sup>2</sup> стены из ячеистого бетона (толщиной 25...30 см) требуется 30...40 кг усл. топл., на производство 1 м<sup>2</sup> стены из керамзитобетона (толщиной 30...35 см) 70...77, причем 75 % энергозатрат идет на изготовление керамзита [30].

Доля строительного кирпича в общем объеме стеновых мате-

риалов составляет 50 %. В СССР выпускается около 42 млрд. шт. условного кирпича в год, в том числе 27,5 млрд. шт. глиняного и 14 млрд. шт. силикатного. При производстве полнотелого глиняного кирпича расход топлива (условного) на 1 тыс. шт.— 250...260 кг, при изготовлении пустотелого кирпича пустотностью до 20 % он снижается до 225...235, пустотностью до 30...40 % — до 200...220. Применение топливосодержащих отходов, золы ТЭС как добавок в глину обеспечивает сокращение расхода технологического топлива в среднем на 25 кг на 1 тыс. шт. условного кирпича.

В табл. III.2 приведены теплотехнические и экономические показатели наиболее распространенных однослойных бетонных стен. В табл. III.3 сопоставлены основные теплотехнические и экономические характеристики применяемых в практике отечественного строительства стеновых ограждающих конструкций [7].

Таблица III.2. Теплотехнические и экономические показатели однослойных бетонных стен [7]

| Конструктивное решение стены          |                                        |             | Приведенное сопротивление теплопередаче, (м <sup>2</sup> ·К)/Вт | Собстоимость смонтированной конструкции, руб. | Суммарные капитальные вложения, руб. в год | Эксплуатационные затраты на отопление, руб. | Приведенные затраты с учетом эксплуатации, руб. | Полная энергоемкость изготовления и службы монтажа, кг усл. топл. | Энергозатраты на компенсацию теплопотерь за срок службы здания, кг усл. топл. | Всего энергозатраты, кг усл. топл. |
|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Материал                              | Плотность материала, кг/м <sup>3</sup> | Толщина, см |                                                                 |                                               |                                            |                                             |                                                 |                                                                   |                                                                               |                                    |
| Керамзитобетонные                     | 1200                                   | 40          | 0,88                                                            | 22,45                                         | 37,8                                       | 35,25                                       | 63,8                                            | 100,0                                                             | 1757                                                                          | 1857                               |
| То же                                 | 1000                                   | 40          | 1,08                                                            | 22,6                                          | 37,8                                       | 28,5                                        | 57,2                                            | 100,5                                                             | 1419                                                                          | 1519,5                             |
| Керамзитобетонные на перлитовом песке | 850                                    | 30          | 1,06                                                            | 19,5                                          | 35,8                                       | 31,75                                       | 57                                              | 84,4                                                              | 1591                                                                          | 1675,4                             |
| Ячеистые                              | 600                                    | 28          | 1,28                                                            | 18,65                                         | 42,0                                       | 28,75                                       | 51,2                                            | 54,7                                                              | 1293                                                                          | 1347,7                             |

Для теплоизоляционного слоя трехслойных панелей обычно используют жесткие плиты из полистирольного пенопласта ПСБ или ПСБ-С (ГОСТ 15588—70 \*), из пенопласта на основе резольных фенолформальдегидных смол (ГОСТ 20916—75), фибролитовых на портландцементе (ГОСТ 8928—81). Средняя плотность теплоизоляционных изделий и материалов не должна превышать 400 кг/м<sup>3</sup>, а для высшей категории качества — 220. В отдельных случаях при технико-экономических обоснованиях допускается применять теплоизоляционный слой из материалов средней плотности более 400 кг/м<sup>3</sup>.

В табл. III.4 приведены данные суммарного расхода топливно-энергетических ресурсов при возведении 1 м<sup>2</sup> наружных стен жилых и других отапливаемых зданий из разных материалов с учетом расхода на производство заполнителей, вяжущего, затрат на изготовление и монтаж изделий на объекте.

**Таблица III.3. Основные теплотехнические и экономические характеристики стеновых ограждающих конструкций**

| Тип ограждения                                                                                                     | Приведенное сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ | Толщина, мм                     | Плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$ | Энергозатраты, $\text{Дж} \cdot 10^{-9}$ |                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------|
|                                                                                                                    |                                                                                |                                 |                                             | производства и возведения                | компенсации теплопотерь через стену за срок службы объекта | суммарная |
| Стены из глиняного кирпича                                                                                         | 1,3                                                                            | 640                             | 1800                                        | 3,37                                     | 40,1                                                       | 43,47     |
| Панели однослойные                                                                                                 | 1                                                                              | 400                             | 1200                                        | 2,92                                     | 51,29                                                      | 54,21     |
| керамзитобетонные                                                                                                  | 1,3                                                                            | 400                             | 1000                                        | 2,95                                     | 41,42                                                      | 44,37     |
| газобетонные                                                                                                       | 1,4                                                                            | 280                             | 600                                         | 1,6                                      | 37,7                                                       | 39,34     |
| Трехслойные панели на гибких связях:                                                                               |                                                                                |                                 |                                             |                                          |                                                            |           |
| со средним слоем из ячеистого бетона                                                                               | 1,1                                                                            | 325 (общая)<br>135 (утеплителя) |                                             | 2,18                                     | 43,64                                                      | 45,82     |
| то же, из минераловатных плит на синтетическом связующем                                                           | 1,5                                                                            | 300 (общая)<br>140 (утеплителя) |                                             | 1,84                                     | 34,82                                                      | 36,66     |
| со средним слоем из пенополистирольного пенопласта                                                                 | 2,2                                                                            | 300 (общая)<br>110 (утеплителя) |                                             | 1,63                                     | 23,29                                                      | 24,92     |
| Асбестоцементные на деревянном каркасе с теплоизоляционным слоем из минераловатных плит на синтетическом связующем | 2                                                                              | 164 (общая)<br>40 (утеплителя)  |                                             | 1,17                                     | 26,04                                                      | 27,21     |

**Таблица III.4. Удельный расход топливно-энергетических ресурсов при возведении 1  $\text{м}^2$  наружных стен отапливаемых зданий из разных материалов**

| Конструкция                                                      | Толщина стены, см | Масса 1 $\text{м}^2$ стены, кг | Удельный расход       |                      |                        | Удельные энергозатраты $\text{Дж} \cdot 10^{-9}$ |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------------------------------|
|                                                                  |                   |                                | условного топлива, кг | электроэнергии кВт·ч | тепловой энергии, Гкал |                                                  |
| Керамзитобетонная панель плотностью 1000 $\text{кг}/\text{м}^3$  | 30                | 330                            | 65                    | 35                   | 0,12                   | 2,95                                             |
| Стена из глиняного полнотелого кирпича                           | 64                | 1175                           | 68                    | 24                   | —                      | 2,25                                             |
| Стена из эффективного глиняного кирпича                          | 51                | 700                            | 45                    | 20                   | —                      | 1,52                                             |
| Трехслойная железобетонная панель с минераловатным утеплителем   | 25                | 480                            | 23                    | 22                   | 0,1                    | 1,46                                             |
| Панель из ячеистого бетона плотностью 700 $\text{кг}/\text{м}^3$ | 25                | 175                            | 21                    | 20                   | 0,093                  | 1,34                                             |
| Стена из ячеистобетонных блоков                                  | 30                | 175                            | 18                    | 23                   | 0,11                   | 1,23                                             |
| Стена из гипсокерамзитобетона                                    | 35                | 460                            | 30                    | 22                   | —                      | 1,26                                             |

К эффективным конструкциям по теплозащите относятся трехслойные железобетонные панели с пенополистирольным утеплителем, панели из ячеистого бетона, а также стены из ячеистых блоков и гипсокерамзитобетона.

Ограждающие конструкции из арболита (ГОСТ 19222—84) изготавливают из смеси органического заполнителя, минерального вяжущего (портландцемент М 300 и М 400) и воды. Для ускорения твердения растворов, минерализации древесных частиц, в

смесь вводят химические добавки — кальций хлористый технический и натриевое жидкое стекло. В качестве органического заполнителя применяют дробленку из отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки хвойных или твердолиственных древесных пород, одубину (отходы переработки дубового экстрактивного сырья), костру конопли, льна, а также дробленые стебли хлопчатника.

Арболитовые изделия используют для жилых, общественных, производственных зданий и сооружений в качестве навесных наружных стен; заполнения каркаса, несущих наружных и внутренних неармированных стен зданий высотой до двух этажей; самонесущих наружных и внутренних стен длиной не более 7 м; обшивки потолков, изоляции полов и кровли.

Арболитовые изделия применяют в конструкциях зданий с относительной влажностью воздуха в них не более 75 %. В зданиях с относительной влажностью воздуха более 75 % внутренние поверхности изделий покрывают пароизоляцией.

Прочность на сжатие теплоизоляционных изделий из арболита 0,5 и 1,0 МПа, а конструктивно-теплоизоляционных — 1,5; 2,5 и 3,5. Арболит относится к биостойким и трудносгораемым материалам. Морозостойкость теплоизоляционного материала не нормируется. Для конструктивно-теплоизоляционных изделий, применяемых в зданиях с относительной влажностью помещений не более 60 % — Мрз 25, а с относительной влажностью 60...75 % — Мрз 35, для бетона или раствора наружного отделочного слоя — Мрз 50. Водопоглощение арболита с заполнителем из отходов лесозаготовок 60...70 %, а из отходов лесопиления — 85.

Теплопроводность арболита приведена в табл. III. 5. Влажность изделий, отпускаемых потребителю, не должна превышать 25 %.

В табл. III. 6 приведены данные по прочности арболита.

Арболит почти вдвое дешевле железобетона. Удельные капиталовложения на его производство вдвое ниже чем на производ-

Таблица III.5. Теплопроводность арболита в зависимости от его плотности и вида заполнителя (при  $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$ )

| Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup> | Теплопроводность, Вт/(м·К) при заполнителе на |                                                                          |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                      | измельченной древесине                        | измельченных стеблях хлопчатника, рисовой соломы, костре льна и коноплей |
| <i>Теплоизоляционный</i>             |                                               |                                                                          |
| 400                                  | 0,08                                          | 0,07                                                                     |
| 450                                  | 0,09                                          | 0,075                                                                    |
| <i>Конструкционный</i>               |                                               |                                                                          |
| 500                                  | 0,95                                          | 0,08                                                                     |
| 550                                  | 0,105                                         | 0,095                                                                    |
| 600                                  | 0,12                                          | 0,105                                                                    |
| 650                                  | 0,13                                          | 0,11                                                                     |
| 700                                  | 0,14                                          | 0,12                                                                     |
| 750                                  | 0,15                                          | —                                                                        |
| 800                                  | 0,16                                          | —                                                                        |
| 850                                  | 0,17                                          | —                                                                        |

Таблица III.6. Прочность арболита в зависимости от его плотности и вида заполнителя (по ГОСТ 19222—84)

| Вид арболита      | Класс по прочности на сжатие | Марка прочности при осевом сжатии | Средняя плотность, кг/м³, при заполнителе на |                                               |                |                            |
|-------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|----------------------------|
|                   |                              |                                   | измельченной древесины                       | костре льна или дробленых стеблях хлопчатника | костре конопля | дробленной рисовой соломой |
| Теплоизоляционный | В 0,35                       | M5                                | 400...500                                    | 400...450                                     | 400...450      | 500                        |
|                   | В 0,75                       | M10                               | 450...500                                    | 450...500                                     | 450...500      | —                          |
|                   | В 1,0                        | M15                               | 500                                          | 500                                           | 500            | —                          |
| Конструкционный   | В 1,5                        | —                                 | 500...650                                    | 550...650                                     | 550...650      | 600...700                  |
|                   | В 2,0                        | M25                               | 500...700                                    | 600...700                                     | 600...700      | —                          |
|                   | В 2,5                        | M35                               | 600...750                                    | 700...800                                     | —              | —                          |
|                   | В 3,5                        | M50                               | 700...850                                    | —                                             | —              | —                          |

ство кирпича, и в четыре раза, чем железобетона. Один м² арболитовой стены вдвое дешевле и в пять раз легче кирпичной. Стоимость 1 м² арболитовой стены 3 р. 64 к.

На обеспечение необходимых эксплуатационных параметров ограждающих конструкций большое влияние оказывают их стыковые соединения, теплотери через которые составляют до 20 % теплотерьер через глухую часть панелей.

Замоноличенные стыки между панелями воспринимают статические усилия как монолитная конструкция. Растягивающие напряжения в замоноличенных швах между панелями с гладкими поверхностями достигают в среднем 0,15 МПа и обеспечивают статическую работу многоэтажных сборных конструкций.

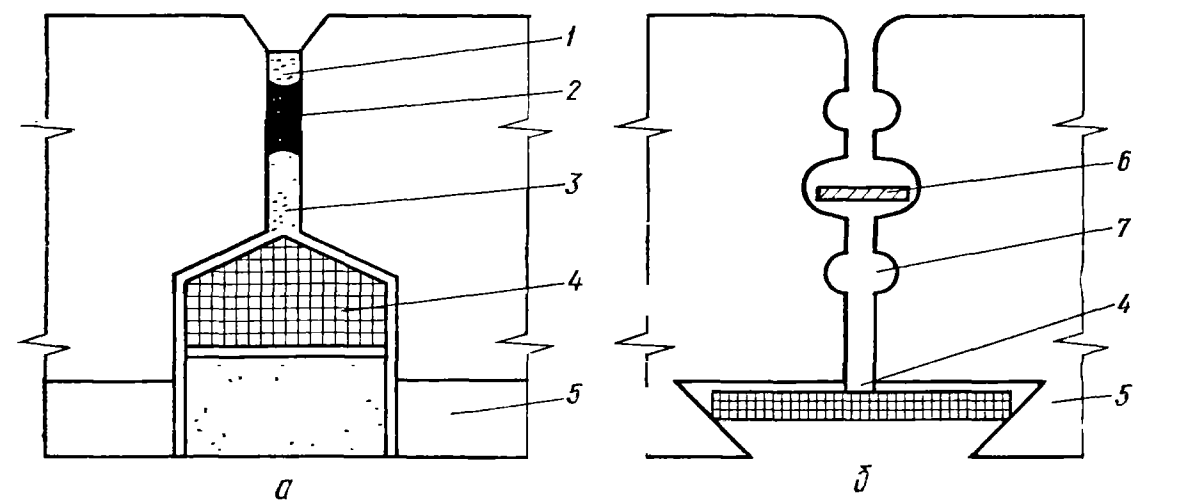


Рис. III.1. Схема закрытого (а) и открытого (б) стыков:

1 — цементно-песчаный раствор; 2 — герметизирующая мастика; 3 — зачеканка панелей; 4 — утепляющий пакет; 5 — стеновая панель; 6 — водоотбойная лента; 7 — декомпрессионный канал.

Стыки разделяют на открытые и закрытые (рис. III. 1), утепленные и неутепленные [67]. В открытых предусмотрены две конструктивные зоны, одна из которых предназначена для обеспечения воздухозащитных, другая — водозащитных свойств. В откры-

тых стыках перед основной зоной воздухоизоляции имеется свободная часть, сообщающаяся с наружным воздухом (см. рис. III. 1).

Открытые дренированные — это стыки, у которых попавшая внутрь дождевая вода удаляется путем дренирования и за счет испарения. В открытых недренированных стыках дождевая вода, попавшая внутрь их, испаряется. В закрытых стыках для обеспечения воздухо- и водозащитных свойств предусматривается одна

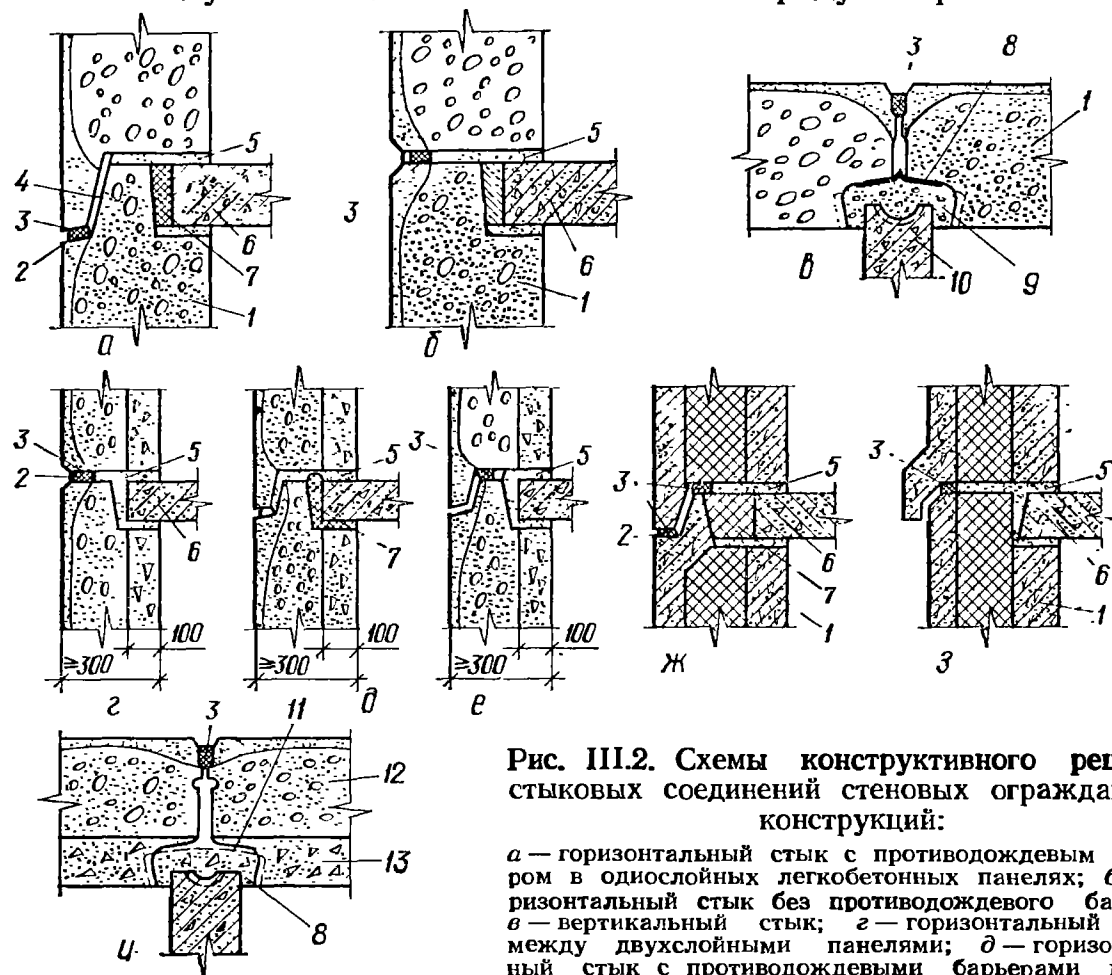


Рис. III.2. Схемы конструктивного решения стыковых соединений стеновых ограждающих конструкций:

а — горизонтальный стык с противодождевым барьером в однослойных легковесных панелях; б — горизонтальный стык без противодождевого барьера; в — вертикальный стык; г — горизонтальный стык между двухслойными панелями; д — горизонтальный стык с противодождевыми барьерами между двухслойными панелями; е — то же; ж — горизонтальный стык трехслойных панелей с гибкими связями; з — то же (вариант); и — вертикальный стык между двухслойными панелями;

1 — панель наружной стены; 2 — герметизирующая мастика; 3 — уплотняющие прокладки; 4 — обмазочная гидроизоляция; 5 — растворный шов; 6 — панель перекрытия; 7 — теплоизоляционный вкладыш; 8 — полоса гидроизоляционного материала; 9 — бетон замоноличивания; 10 — панель внутренней стены; 11 — оклеечная воздухоизоляция; 12 — утепляющий слой стеновой панели; 13 — несущий слой стеновых панелей.

общая зона. Закрытый стык обеспечивает ремонтпригодность соединяемых панелей при преждевременном его выходе из строя. Однако невысокая долговечность герметизационных материалов обуславливает недостаточную надежность закрытых стыков.

В открытых стыках герметики предохранены от атмосферных воздействий. Проникновению воды препятствует водоотбойная лента, рифленые поверхности которой позволяют отводить воду до водоотводящего лотка. Наклонные канавки на боковых гранях панели способствуют тому, что влага при проникании за первый



водозащитный слой (водоотбойную ленту) стекает по ним вниз до горизонтального стыка в водоотводящий лоток из оцинкованной жести. Наиболее распространенные схемы стыковых соединений наружных ограждений крупнопанельных зданий приведены на рис. III. 2.

### МНОГОСЛОЙНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

**Панели металлические с утеплителем из пенопластов** (ГОСТ 21562—76) предназначены для наружных стен и покрытий, эксплуатируемых в неагрессивных и слабоагрессивных средах при температуре наружной поверхности панели —65 ... +75 °С, внутренней поверхности до +30 °С, относительной влажности воздуха в помещениях не более 60 %.

По конструктивному решению их подразделяют на двухслойные (ПД), состоящие из одного металлического профилированного листа, утеплителя и гидроизоляционного или защитно-декоративного покрытия; трехслойные (ПТ), состоящие из двух металлических профилированных листов и утеплителя. Панели изготавливают как из профилированных стальных листов, так и из профилированных листов алюминиевых сплавов (рис. III. 3) на технологических линиях непрерывного действия или на стендовых установках.

Алюминиевые листы можно применять без покрытия, а стальные — с металлическим или лакокрасочным покрытием.

Утеплитель в панелях может быть получен вспениванием твердых полуфабрикатов (в том числе наполненных).

|                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| Размеры панелей, мм: |                             |
| Длина . . . . .      | 2400...12 000 (с шагом 600) |
| Ширина . . . . .     | 1000, 1500                  |
| Толщина . . . . .    | 50, 60, 80, 100 и 120.      |

#### Техническая характеристика панелей

|                                                                                 | ПД      | ПТ    |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|
| Плотность, кг/м³                                                                | ≤ 120   | 80    |
| Теплопроводность, Вт/(мК)                                                       | ≤ 0,058 | 0,046 |
| Водопоглощение за 24 ч при относительной влажности воздуха 95 %, объемных проц. | 1,0     | 0,2   |
| Водопоглощение за 24 ч при насыщении водой, объемных проц.                      | 10      | 3     |

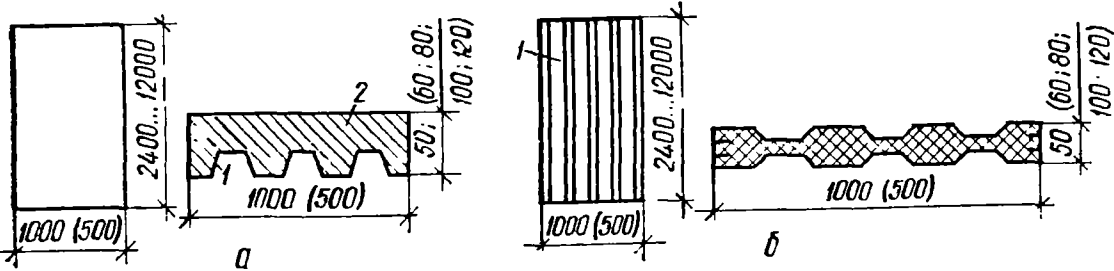


Рис. III.3. Панели металлические с утеплителем из пенопласта:  
а — тип ПД; б — тип ПТ;  
1 — металлический профилированный лист; 2 — утеплитель.

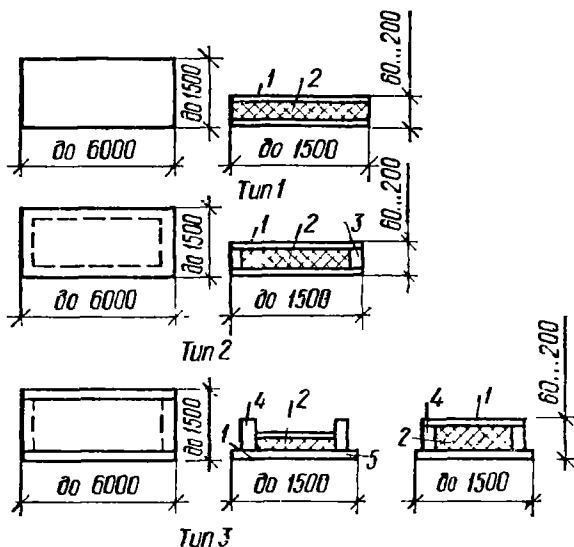
По расположению в ограждающих конструкциях панели делятся на рядовые, угловые, доборные.

Панели асбестоцементные трехслойные с утеплителем из пенопласта (ГОСТ 24581—81) предназначены для стен, покрытий и потолков производственных зданий, эксплуатируемых в неагрессивных и слабоагрессивных средах при температуре наружной поверхности панели  $-50 \dots +75^\circ\text{C}$  и температуре внутренней поверхности не выше  $+30^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха помещения не более 75 %.

Панели классифицируют по назначению, конструктивному решению, способу изготовления, пределу огнестойкости,

Рис. III.4. Панели асбестоцементные трехслойные с утеплителем из пенопласта:

1 — асбестоцементный лист; 2 — пенопласт; 3 — обрамление; 4 — ребро; 5 — неметаллический лист.



группе возгораемости. По назначению панели подразделяются для стен, покрытия и подвесного потолка. Их изготовляют трехслойными, трехслойными с обрамлением по контуру и трехслойными с несущими ребрами. Все они могут быть с проемами и без них (рис. III. 4).

Панели изготовляют вспениванием пенопласта из заливочных композиций или твердых полуфабрикатов в полости конструкции с одновременным приформовыванием его к листам или склеиванием готовых плит пенопласта с листами. Они бывают трудносгораемые и сгораемые. Предел огнестойкости 0,75; 0,50; 0,25 и менее 0,25 ч.

Размеры панелей, мм:

|         |   |   |   |   |   |          |
|---------|---|---|---|---|---|----------|
| Длина   | . | . | . | . | . | До 5000  |
| Ширина  | . | . | . | . | . | До 1500  |
| Толщина | . | . | . | . | . | 60...200 |

В зависимости от точности изготовления и внешнего вида бывают трех сортов: высшего, 1-го и 2-го. Панели высшего сорта в установленном порядке могут быть аттестованы по высшей категории качества.

Для изготовления панелей применяют асбестоцементные плоские прессованные обрезные листы по ГОСТ 17124—75 с защитно-декоративным покрытием или без него. Верхний лист может быть из твердых и сверхтвердых древесноволокнистых плит по ГОСТ 1598—74, а также из других неметаллических листовых материалов по согласованию с базовой организацией по стандартизации панелей. Ребра и обрамления панели — из древесины, фанеры или асбестоцемента (табл. III. 7).

**Т а б л и ц а   III 7   Физико-механические показатели пенопластов в зависимости от типа панели (по ГОСТ 24581—81)**

| Показатели                                                                           | Единица измерения | Значение показателей для панелей типа |                  |                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|------------------|------------------|
|                                                                                      |                   | 1                                     | 2                | 3                |
| Плотность, не более                                                                  | кг/м <sup>3</sup> | $\frac{80}{160}$                      | $\frac{80}{140}$ | $\frac{60}{140}$ |
| Теплопроводность в сухом состоянии при $t = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , не более     | Вт/(мК)           | 0,046                                 | 0,046            | 0,046            |
| Водопоглощение за 24 ч при относительной влажности воздуха $(96 \pm 2)\%$ , не более | % по объему       | 0,058                                 | 0,058            | 0,058            |
| Водопоглощение за 24 ч при насыщенности водой, не более                              | % по объему       | 0,6                                   | 1,0              | 1,0              |
| Прочность, не менее                                                                  | кПа               | 10                                    | 10               | 10               |
| при растяжении                                                                       |                   | 147                                   | 147              | 118              |
| сжатии                                                                               |                   | 147                                   | 147              | 118              |
| сдвиге                                                                               |                   | 118                                   | 118              | 98               |

**П р и м е ч а н и е.** Нормы в числителе для пенопластов без наполнителей, в знаменателе — для пенопластов с наполнителями.

Наружную и внутреннюю поверхности панелей защищают от влажностных воздействий гидрофобизирующей жидкостью типа 136—41 по ГОСТ 10834—76 или водостойкими лакокрасочными покрытиями.

Если панели применяют для ограждения помещений, в которых по требованиям технологии периодически увлажняются ограждающие конструкции или уложены пенопласты водопоглощением более 3 % по объему, для защиты поверхности листов панелей со стороны помещения применяют лакокрасочные покрытия с учетом требований СНиП II-3-79\*.

Для защиты панелей от влаги со стороны помещения применяют нефтеполимерные, кумароно-каучуковые, сополимерно-винилхлоридные и латексные лакокрасочные материалы, а с наружной — перхлорвиниловые, хлоркаучуковые и цементно-перхлорвиниловые лакокрасочные покрытия.

Торцовые поверхности панелей типа 1 с пенопластами водопоглощением более 3 % по объему защищают гидроизоляционными покрытиями из хлорсульфополиэтилена, тиоколовых герметиков или рубероида.

**Панели асбестоцементные стеновые наружные на деревянном каркасе с утеплителем (ГОСТ 18128—82)** предназначены для наружных стен подземной части полносборных жилых домов и домов из монолитного бетона, а также полносборных зданий школ и детских яслей-садов, а в кирпичных жилых домах — для стен лоджий с влажностью воздуха помещения не выше 60 %. Панели состоят из деревянного каркаса, обшитого с двух сторон на глухих участках плоскими асбестоцементными листами, и нестораемого или трудностораемого утеплителя.

Панели изготовляют двух типов: 1ПНСА — для жилых домов и 2ПНСА — для школ и детских яслей-садов.

Координационные размеры панелей по длине, мм:

1ПНСА . . . . . 2400, 3000, 3600, 4800, 6000, 6600

2ПНСА . . . . . 2980 и 5980

Угловые панели . . . . . С учетом конструкции угловых сопряжений и толщины панелей

Ширина панелей, мм:

1ПНСА

при высоте этажа 2,8 м . . . . . 2780

то же, 3 м . . . . . 2980

2ПНСА

при высоте этажа 3,3 м . . . . . 3280

Ширину парапетных панелей и панелей в лоджиях принимают по проекту.

Размеры панелей по толщине, мм:

Для районов со средней расчетной температурой наиболее холодных суток до  $-40^{\circ}\text{C}$  . . . . . 160

То же, до  $-41^{\circ}\text{C}$  и ниже . . . . . 210

Панели снаружи и внутри обшивают плоскими асбестоцементными листами толщиной 10 мм (ГОСТ 18124—75). Для обшивки можно применять также асбестоцементные прессованные листы первого и высшего сортов или непрессованные высшего сорта. Окрашивают их кремнийорганическими эмалями КО-174 и КО-168 по техническим условиям, а также перхлорвиниловыми ХВ-1100 — по ГОСТ 6993—79, ХВ-785 — по ГОСТ 7313—75 и другими щелоче- и атмосферостойкими красками.

Бруски должны соответствовать требованиям ГОСТ 19414—79 и антисептированы кремнийфтористым аммонием (КФА), препаратом ХМБ-444, тетрофторбором аммония (ТФБА) концентрацией 15 % или препаратом ПБ концентрацией 20 %. В качестве утеплителей применяют полужесткие или жесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—72), а также минераловатные прошивные маты марок 100, 125 типа 4М (ГОСТ 21880—76). Влажность плит не должна превышать 1 % по массе, прошивных матов — 2 % по массе. Можно применять полужесткие или жесткие плиты из стеклянного штапельного волокна марок ППС-75 и ПЖСС-175 (ГОСТ 10499—78). В панелях высшей категории качества применяют утеплитель, обернутый в полиэтиленовую пленку.

Если панели применяют в районах со средней расчетной температурой наиболее холодных суток  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже, они должны иметь противоветровую преграду из асбестоцементных или асбесто-бумажно-цементных листов толщиной 4...6 мм, примыкающую к утеплителю с наружной стороны. Для уплотнения пазов алюминиевых профильных раскладок по периметру листов наружной обшивки применяют уплотняющие пенополиуретановые прокладки (ГОСТ 10174—72), «Герлен Д» (ТУ 400-1-165-79), мастику нетвердеющую строительную (ГОСТ 14791—79). Швы между листами наружной обшивки, прикрепляемой к каркасу шурупами, а также места установки шурупов герметизируют нетвердеющей

Т а б л и ц а III.8. Номенклатура и технические характеристики основных типов

| Конструкция       | Конструктивная схема | Расход материалов на 1 м <sup>2</sup> конструкции |                     |                            |
|-------------------|----------------------|---------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|
|                   |                      | алюминий,                                         | крепежные элементы, | утеплитель, м <sup>3</sup> |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
| Стеновые панели   |                      | 8,1                                               | 1                   | 0,08                       |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
|                   |                      | 5,2                                               | 1                   | 0,05                       |
| Кровельные панели |                      | 8,1                                               | 1,0                 | 0,08                       |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
|                   |                      | 5,2                                               | 1,1                 | 0,05                       |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
|                   |                      | 3/6                                               | 1                   | 0,06                       |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
|                   |                      | 3                                                 | 1                   | 0,08                       |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |
|                   |                      |                                                   |                     |                            |

алюминиевых конструкций [29]

| Характеристика утеплителя                             |  |                                 | Масса<br>конструк-<br>ции, т | Разработчик и шифр рабочих чертежей     |
|-------------------------------------------------------|--|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| название                                              |  | $\gamma$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> |                              |                                         |
| Плитный полистироль-<br>ный пенопласт                 |  | 30                              | 10...90                      | ГипроНИИсельхоз, ЦНИИПС; САЛ<br>вып. 38 |
| Пенопласт ПСБ-С или<br>ФРП                            |  | 40<br>80                        | 17...200                     | ЦНИИСК, ЦНИИЭПсельстрой                 |
| Плитный полистироль-<br>ный пенопласт                 |  | 30                              | 50...350                     | Гипроминсельхоз                         |
| Пенопласт ПСБ или<br>ФРП                              |  | 80<br>80                        | 80                           | ЦНИИСК, ЦНИИЭПсельстрой                 |
| Пенополистирольный пе-<br>нопласт+слой пергами-<br>на |  | 30                              | 24...50                      | —                                       |
| Пенопласт ФРП+слой<br>пергамина                       |  | 60                              | 24...50                      | ЦНИИЭПсельстрой                         |

строительной (ГОСТ 14791—79) или полисульфидной (тиоколо-вой) мастикой. Между внутренней обшивкой панели и утеплителем укладывают пленочную или окрасочную пароизоляцию.

Пленочную пароизоляцию выполняют из полиэтиленовой пленки (ГОСТ 10354—73). Для окрасочной пароизоляции применяют эмали перхлорвиниловые ХВ-1100 (ГОСТ 6993—79), ХВ-785 (ГОСТ 7313—75), краски фасадные перхлорвиниловые ХВ-161, краски акриловые ЭАК-III (ГОСТ 20833—75), эмали сополимерные ХС-119 (ГОСТ 21824—76). Краску наносят на поверхность внутренней обшивки, обращенной к утеплителю. Пленка должна быть сплошной, без разрывов и повреждений.

Панели поставляют с установленными остекленными оконными и дверными блоками, конструкция, размеры и качество которых должны удовлетворять требованиям ГОСТ 11214—78, ГОСТ 23166—78 и ГОСТ 16289—80. В панелях устанавливают деревянные подоконные доски (ГОСТ 17280—79) или асбестоцементные подоконные экструзионные плиты.

**Стеновые панели из алюминиевых сплавов.** Высокая эффективность использования легких алюминиевых навесных панелей в строительном производстве обусловлена рядом факторов:

возможностью улучшения теплоизоляции наружных стен путем применения наиболее рациональных теплоизоляционных материалов, что обеспечивает экономию за счет снижения расходов на отопление зданий в процессе эксплуатации; увеличением полезной кубатуры здания за счет более теплых и тонких стен; выбором способа монтажа стен изнутри здания без применения дорогостоящих лесов; исключением мокрых процессов при производстве монтажных работ; экономией средств за счет покраски навесных стен в процессе эксплуатации; облегчения конструкций зданий и фундамента за счет снижения веса навесной стены; минимальным количеством работ по заделке стыков между панелями; максимальным снижением стоимости панелей за счет изготовления их на высокомеханизированных заводах; разнообразной декоративной отделкой наружных панелей.

Каркасные алюминиевые панели представляют собой полносборные заводские изделия с качественной отделкой антикоррозионной защитой, высоким классом точности, что выгодно отличает их от других типов стеновых панелей.

В табл. III. 8 приведены сведения об основных типах алюминиевых конструкций.

Для обшивок трехслойных панелей применяют листы из алюминиевых сплавов толщиной 0,8...1,5 мм. Слои утеплителя определяются экономически целесообразным термическим сопротивлением. Легкие алюминиевые ограждения панельного типа состоят из двух наружных тонких листов алюминия, между которыми укладывают утеплитель. Панель по контуру, в большинстве случаев, имеет окаймляющие ребра. Один из способов повышения устойчивости тонкого листа — его профилирование. Тонкие панели состоят из каркаса и гофрированной верхней обшивки, укладываемой

емой по продольным ребрам по специальной балочной обрешетке. Длина волнистых листов 3...7 м, ширина 1,06; 1,25 и 1,35 м, толщина 0,8; 1,2; 1,5; 1,8 и 2 мм. Высота и шаг волны соответственно 35 и 125 мм. В качестве утеплителя принимают обычно минераловатные плиты.

Учитывая, что стоимость профилированных листов на 20...30 % выше, чем гладких, разработаны клееные трехслойные панели типа «сэндвич» с применением верхних гладких листов, жесткость которых обеспечивается приклеиванием их к утеплителю из жесткого пенопласта. В этом случае утеплитель участвует в работе конструкции. Размеры панели 180×1500×5000 мм. Обрамление со средним слоем из полистирольного или фенольного пенопласта — из гнутых клефанерных или пластмассовых швеллеров. Соединяют обшивки с обрамлением завальцовкой. Надежность клеевых соединений алюминиевых листов обшивки со слоем утеплителя можно повысить, придавая небольшое профилирование с волной 1,5...2 мм и вспенивая утеплитель непосредственно в самой конструкции.

### ПЛИТЫ ПОКРЫТИЙ

Из общего объема покрытий зданий около 60 % занимают конструкции с несущими плитами из тяжелого и легкого бетона. К эффективным ограждающим конструкциям относятся комплексные железобетонные плиты с утеплителем, изготавливаемые в заводских условиях (рис. III.5).

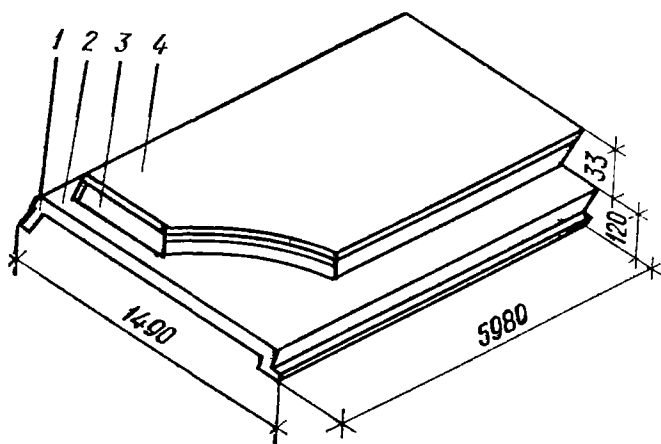


Рис. III.5. Общий вид комплексной плиты покрытия:

1 — несущая железобетонная плита; 2 — пароизоляционный слой; 3 — утеплитель; 4 — гидроизоляционный слой.

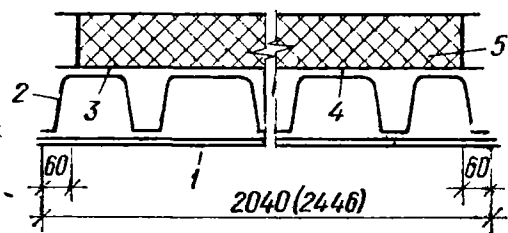


Рис. III.6. Панель покрытия стальным профилированным настилом:

1 — стальная полоса; 2 — стальной профилированный настил; 3 — пароизоляция; 4 — гидроизоляционный слой; 5 — теплоизоляция.

Для теплоизоляции в комплексных плитах применяют: теплоизоляционные материалы монолитной укладки — ячеистые и легкие бетоны, пенополистирол ПСБ-С, которые укладывают до термообработки изделий;



теплоизоляционные материалы монолитной укладки (битумоперлит, битумокерамзит, не требующие термообработки), которые наносят по готовым несущим плитам;

плитные материалы (из цементного фибролита, минеральной ваты, ячеистых и легких бетонов, пенополистирола), укладываемые до и после термообработки несущих плит. Основой для организации производства комплексных плит служат рабочие чертежи «Комплексных железобетонных плит в покрытиях одноэтажных промышленных зданий серии 1.465—10», «Руководство по производству и применению сборных железобетонных комплексных плит в покрытиях производственных зданий».

Применение комплексных плит покрытия, изготавливаемых в заводских условиях, позволяет сократить построечные трудозатраты и стоимость покрытия, значительно улучшить качество изоляционных работ. Для снижения трудоемкости изготовления изделий, механизации процесса производства применяют монолитные теплоизоляционные материалы, укладываемые до термообработки изделий. При этом наносят паро- и теплоизоляционные слои в одном технологическом цикле совместно с изготовлением несущих плит.

Данные заводской себестоимости устройства теплоизоляции комплексных плит покрытия из таких утеплителей как пенобетон, пенополистирол, минераловатная плита, битумоперлит — в табл. III.9

Т а б л и ц а III.9. Экономический анализ изготовления комплексных плит покрытия на различных утеплителях

| Название                | Средняя плотность в конструкции, кг/м <sup>3</sup> | Теплопроводность, при $t = (25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К) | Необходимая толщина при $t_n = -30^\circ\text{C}$ ; $t_v = +18^\circ\text{C}$ ; $\Delta t'' = 6^\circ\text{C}$ , см |
|-------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Пенобетон               | 40                                                 | 0,16                                                            | 12                                                                                                                  |
| Пенополистирол          | 35                                                 | 0,046                                                           | 4                                                                                                                   |
| Минераловатные плиты ПЖ | 160                                                | 0,069                                                           | 6                                                                                                                   |
| Битумоперлит            | 350                                                | 0,092                                                           | 7                                                                                                                   |
| Перлитобетон            | 400                                                | 0,116                                                           | 8                                                                                                                   |

Необходимая толщина сравниваемых утеплителей рассчитана авторами в соответствии с требованием СНиП II-3-79\* исходя из условий обеспечения многослойной конструкцией покрытия необходимого сопротивления теплопередачи по санитарно-гигиеническим условиям (см. гл. I) при расчетной зимней температуре наружного воздуха  $t_n = -30^\circ\text{C}$ , расчетной температуре внутреннего воздуха  $t_v = +18^\circ\text{C}$  и расчетной относительной влажности внутреннего воздуха до 75 %. При определении себестоимости сырья и материалов использованы действующие ценники и прейскуранты оптовых цен. Заводская себестоимость устройства теплоизоляции с учетом необходимой толщины разных утеплителей приведена в табл. III.10. При расчете себестоимости переработки использованы калькуляции отдельных предприятий и ЕНиР.

Т а б л и ц а III.10. Заводская себестоимость устройства теплоизоляции

| Компоненты себестоимости | Себестоимость 100 м <sup>2</sup> плит с разными утеплителями, руб. |                |                  |              |              |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|--------------|--------------|
|                          | Пенобетон                                                          | Пенополистирол | Минеральная вата | Битумоперлит | Перлитобетон |
| Сырье и материалы        | 65                                                                 | 123            | 181              | 80           | 71           |
| Переработка              | 131                                                                | 37             | 16               | 84           | 87           |
|                          | 196                                                                | 160            | Всего 197        | 164          | 158          |

Второе место по объему применения утепленных покрытий занимают конструкции со стальными профилированными листами (примерно 20 %). В качестве теплоизоляции используют минераловатные плиты повышенной жесткости (ГОСТ 22950—78), а также пенопласты (ГОСТ 20916—75, ГОСТ 15588—70) (рис. III.6).

Разработана техническая документация на устройство легких покрытий: ТДА 2.460-6 «Архитектурные детали покрытий одноэтажных производственных зданий с применением стального профилированного настила», вып. 0,1; серия 2.460-16, вып. 0,1,2: «Узлы покрытий одноэтажных производственных зданий из двухслойных панелей». Покрытия с несущими железобетонными плитами при сметной стоимости, составляющей 75 % стоимости покрытий с несущим стальным настилом, имеют почти в три раза большую массу. Кроме того, возникает необходимость устройства стяжки под кровлю. Такой же недостаток наблюдается при применении в покрытиях со стальным профилированным настилом жестких минераловатных плит, по которым необходимо выполнять армированную стяжку из цементного раствора.

Каркасные асбестоцементные плиты наиболее дорогие. При сокращении сроков ввода мощностей наиболее эффективны покрытия с несущим стальным настилом с утеплителем из минераловатных плит повышенной жесткости (ГОСТ 22950—78).

Покрытия зданий из легких металлических конструкций с несущим стальным оцинкованным профилированным настилом не вентилируемые и включают слои паро- и теплоизоляции из минераловатных плит повышенной жесткости, а также кровлю из рулонных материалов.

Размеры плит 2,04×6...12 м и 2,44×6...12 м при настилах высотой соответственно 60 и 80 мм. Для зданий шириной 12; 18; 24; 36 м можно использовать панели длиной 6 и 9 м. В ряде случаев рационально изготавливать панели длиной 12 м. Швы между плитами покрытия заделывают уплотнительными прокладками, поставленными на место монтажа совместно с панелями.

Использование покрытий из профилированного настила в сочетании с утеплителем из минераловатных плит повышенной жесткости вместо железобетонных плит с утеплителем из пенобетона уменьшает массу конструкции в три раза, существенно сни-

жает затраты труда на монтаж и сокращает транспортные расходы (см. табл. III.8).

Кровельные плиты выпускают размерами  $3 \times 12$ ;  $1,5 \times 12$ ;  $3 \times 6$  и  $1,5 \times 6$  м. Они состоят из щитов, соединенных с помощью решетки. Каждый щит, в свою очередь, состоит из каркаса и прикрепленной к нему точечной сваркой обшивки толщиной 1 мм (верхняя) и 0,8 мм (нижняя). Между уголками и стенками каркаса ставят прокладки из прессованного картона, обе стороны которых смазывают эпоксидным клеем. В качестве утеплителя применяют стекловатные маты.

Для ограждения одноэтажных производственных и жилых зданий в северных районах страны применяют стеновые панели размером  $1,32 \times 3,5$  и  $1,32 \times 4,5$  м с верхней и нижней обшивками из алюминиевого листа толщиной 1,5 мм. Утеплитель — пенополиуретан — толщиной 150 мм.

### **ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Один из наиболее перспективных методов улучшения теплозащитных свойств ограждающих конструкций — разработка легких бетонов с заполнителями типа керамзита (керамзит, азерит, шлаковый гравий) насыпной плотностью  $250 \dots 300 \text{ кг/м}^3$  разного фракционного состава и пористых песков. Теплопроводность легкого бетона на основе таких заполнителей примерно  $0,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . В ряде строительных министерств Украинской ССР увеличен выпуск керамзитового гравия пониженной плотности. Теплозащитные свойства легких бетонов можно улучшить поризацией растворной части.

Применение воздухововлекающих добавок (микропенообразователей), вводимых в смесь в процессе перемешивания, позволяет уменьшить содержание мелкого заполнителя и обеспечивает получение легкого бетона плотной однородной структуры с сохранением плотности. Поризованная бетонная смесь имеет повышенную вязкость, хорошую удобоукладываемость и пониженную водопотребность — это существенно влияет на технологические и эксплуатационные свойства легких бетонов. Использование воздухововлекающих добавок при производстве легкого бетона способствует увеличению его морозостойкости. Основное отличие поризованных бетонов от бетонов плотной структуры — в максимальном насыщении смеси крупным заполнителем при пониженном содержании мелкого. Метод поризации растворной части широко применяется и в будущем будет совершенствоваться, прежде всего, на базе твердеющих пен.

Второе направление совершенствования конструктивно-теплоизоляционного бетона — применение вспученного перлитового песка в качестве мелкого заполнителя. Этот заполнитель — самый легкий из известных пористых минерального происхождения.

На ряде домостроительных комбинатов страны успешно приме-

няют перлитовый песок в керамзитобетоне для стеновых панелей. На его основе можно изготавливать конструкции плотностью до  $900 \text{ кг/м}^3$ . Однако ежегодный объем производства панелей из легкого бетона на вспученном перлите за последнее время в стране не увеличился. Одна из причин — недостаток бетона на перлитовом песке.

Содержание перлитового песка в керамзитоперлитобетоне должно быть выше обычно принятых соотношений между крупным и мелким заполнителями, а именно до 50...60 % для низких марок бетона и 45...50 % для более высоких. Относительно большой расход пористого перлитового песка существенно снижает плотность бетона, вместе с тем повышая водопотребность смеси и влажность изделий после пропаривания. Керамзитоперлитобетонные панели имеют существенный недостаток — большую отпускную влажность (до 25 %), что приводит к большим колебаниям теплопроводности —  $0,358...0,654 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Влажность бетона можно снизить, применяя в качестве мелкого заполнителя вспученный перлит, обработанный различными типами кремнийорганических гидрофобизаторов. Киевским политехническим институтом и НИИСМИ МПСМ СССР разработана технология производства гидрофобного вспученного перлита. В основу способа получения вспученного гидрофобизованного перлита положен принцип нанесения и закрепления кремнийорганических гидрофобных покрытий на вспученный перлит во взвешенном состоянии. Гидрофобизация вспученного перлита кремнийорганическими соединениями полностью устраняет капиллярный процесс, сводит до минимума водопоглощение при контакте с водой и не влияет на сорбцию воды из воздуха. Водоотталкивающая пленка может быть химически связана с поверхностью перлита или удерживаться с помощью адсорбционных сил взаимодействия. Влажность после пропаривания керамзитоперлитобетонных панелей со вспученным гидрофобизированным перлитом (изготовлены на Рижском ДСК) 10 %. Плотность его  $1000 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводность  $0,24 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  [55]. Таким образом, гидрофобизация вспученного перлитового песка кремнийорганическими соединениями значительно снижает его водопоглощение и улучшает эксплуатационные свойства.

Хорошие теплозащитные качества имеют панели из перлитобетона плотностью  $900...950 \text{ кг/м}^3$  и теплопроводностью  $0,407...0,472 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ . Однако стены из этого материала имеют также значительную отпускную влажность (до 20...25 %). Этот недостаток можно устранить, если применить вспученный гидрофобизированный перлитовый песок.

НИИСК Госстроя СССР совместно с СКТБ Стройиндустрия Минстроя СССР и Киевским политехническим институтом разработали технические условия на изготовление опытной партии панелей из керамзитоперлитобетона на гидрофобизированном вспученном перлитовом песке для наружных стен жилых и общественных зданий (ТУ 6-002-84).

Для керамзитобетонных панелей применяют бетоны плотной структуры при  $V_n \leq 6\%$ ;  $V_v \leq 6\%$  или плотной  $V_n > 6\%$ ,  $V_v \leq 12\%$  и поризованной структуры. Марки по средней плотности принимают не выше приведенных в табл. III.11.

Таблица III.11. Марки керамзитоперлитобетона на гидрофобизированном вспученном перлите

| Марка керамзитоперлитобетона (прочность на сжатие) | Средняя плотность, кг/м³ | Марка керамзитоперлитобетона (прочность на сжатие) | Средняя плотность, кг/м³ |
|----------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------|
| 35                                                 | 800...900                | 75                                                 | 1000...1100              |
| 50                                                 | 900...1000               | 100                                                | 1100...1200              |

Теплопроводность керамзитоперлитобетона на гидрофобизированном перлите не должна превышать более чем на 10 % значений, приведенных в табл. III.12 для первой категории качества, а для высшей категории более чем на 2 %.

Таблица III.12. Теплопроводность керамзитоперлитобетона (в сухом состоянии) на гидрофобизированном перлите

| Проектная плотность, кг/м³ | Теплопроводность, Вт/(м·К) | Расчетная теплопроводность, Вт/(м·К) | Проектная плотность, кг/м³ | Теплопроводность, Вт/(м·К) | Расчетная теплопроводность, Вт/(м·К) |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 800                        | 0,21                       | 0,3                                  | 1100                       | 0,30                       | 0,42                                 |
| 900                        | 0,24                       | 0,34                                 | 1200                       | 0,35                       | 0,48                                 |
| 1000                       | 0,27                       | 0,37                                 |                            |                            |                                      |

В населенных пунктах, где имеются сланцы, из которых можно изготавливать шунгезитовый гравий, наружные стены делают из шунгезитобетонных панелей с теплопроводностью 0,34...0,66 Вт/(м·К) при плотности 750...1000 кг/м³ и отпускной влажности 5,5...7 %.

Перспективный метод улучшения теплозащитных свойств стеновых панелей — применение легких бетонов на пористых заполнителях с аморфизированной структурой (шлаковая пемза, азерит). Теплопроводность таких бетонов может быть снижена на 25...30 % по сравнению с бетонами на пористых заполнителях с кристаллической структурой.

Один из путей уменьшения толщины панелей и сохранения норм теплотехнических показателей — применение эффективных «теплых» штукатурок. Их можно изготавливать, например, на основе перлита, цемента или гипса, а также дробленого волокна. Такие смеси обеспечивают необходимую звукоизоляцию и огнестойкость. Например, если кирпичную стенку сделать не в два с половиной кирпича (64 см), а в два (51 см), тогда толщина перлитовой штукатурки плотностью 350...450 кг/м³ должна быть 15...25 мм.

Штукатурки на гипсовом вяжущем необходимо применять для внутренней обработки стен, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях. Штукатурки на цементном вяжущем применяют для наружной и внутренней отделки зданий. При изготовлении теплозвукоизоляционного штукатурного раствора рекомендуется применять сухие перлитовые смеси, изготовленные на заводах. Можно также изготавливать штукатурные растворы на объектах из поступающих раздельно компонентов смеси. В качестве вяжущего для теплозвукоизоляционного штукатурного раствора рекомендуется применять портландцемент марки не ниже 400, гипс строительный и гипсоцементнопуццолановое вяжущее.

Пористый заполнитель — вспученный перлитовый песок марки не выше 200 (ГОСТ 10832—74). Для улучшения теплоизоляционных и акустических качеств, армирования штукатурного раствора рекомендуется применять рубленое стекловолокно, базальтовое волокно диаметром 10...12 мк и длиной до 20 мм.

Для улучшения адгезионных свойств штукатурного раствора, снижения водопотребности и увеличения пластичности в смесь необходимо вводить поливинилацетатную эмульсию ПВА (ГОСТ 1899.9—73). Для снижения водопоглощения и повышения морозостойкости штукатурок используют гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости. Для регулирования времени схватывания гипсоперлитовых растворов в воду вводят клеизвестковый замедлитель или меллясовый шлам.

Сухую штукатурную массу влажностью не более 1 % по массе доставляют на строительную площадку упакованной в многослойные гидрофобизированные бумажные мешки (табл. III.13) [27].

Т а б л и ц а III.13. Составы сухих штукатурных смесей, % массы

| Портланд-<br>цемент | Гипс строитель-<br>ный | Перлит марки<br>100 | Рубленое стекло-<br>волокно | Плотность смеси,<br>кг/м <sup>3</sup> |
|---------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 75                  | —                      | 23                  | 3                           | 360                                   |
| 70                  | —                      | 25                  | 5                           | 350                                   |
| 65                  | —                      | 30                  | 5                           | 340                                   |
| 60                  | —                      | 33                  | 7                           | 330                                   |
| —                   | 80                     | 15                  | 5                           | 340                                   |
| —                   | 75                     | 20                  | 5                           | 330                                   |
| —                   | 70                     | 23                  | 7                           | 325                                   |
| —                   | 65                     | 25                  | 5                           | 315                                   |
| —                   | 60                     | 33                  | 7                           | 310                                   |

Приведенные в табл. III.13 составы штукатурных растворов для устройства теплозвукоизоляционной штукатурки на поверхностях стен из кирпича и бетона при необходимости можно откорректировать в производственных условиях с учетом характеристик имеющегося оборудования для приготовления и нанесения растворов.

В условиях строительной площадки штукатурный раствор можно наносить методом полусухого торкретирования с помощью

цемент-пушки или пистолета-напылителя. Для повышения поверхностной прочности перлитовой штукатурки и подготовки ее под окраску без шпаклевки рекомендуется выполнять затирку известково-песчаным раствором состава 1:1. Расчетная теплопроводность теплозвукоизоляционной штукатурки 0,179...0,326 Вт/(м·К) при плотности в сухом состоянии 300...700 кг/м<sup>3</sup>.

При применении теплозвукоизоляционной штукатурки экономия (при сравнении теплоэквивалентных толщин на 1 м<sup>2</sup> стены) составляет, руб.:

|                                                                                                             |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| По сравнению с керамзитоперлитобетоном с цементно-песчаной штукатуркой толщиной 1 см . . . . .              | 0,27 |
| По сравнению с керамзитобетоном с цементно-песчаной штукатуркой толщиной 1 см . . . . .                     | 0,51 |
| По сравнению с кладкой из кирпича на любом растворе с цементно-песчаной штукатуркой толщиной 1 см . . . . . | 0,59 |

Штукатурные растворы на вспученном перлитовом песке значительно улучшают теплотехнические свойства конструкций и повышают их огнестойкость. Их используют для кирпичной и крупноблочной кладки, что повышает ее термические свойства.

Теплофизические свойства однослойных ограждающих легкобетонных конструкций можно повысить за счет регулирования структуры бетона (структура порового пространства), зернового и фазового составов заполнителей, влажности бетона; применения эффективных теплых штукатурок, наносимых на внутреннюю сторону ограждающих конструкций в процессе их изготовления.

В отдельных случаях для улучшения теплозащитных свойств целесообразно применять легкие бетоны на вяжущих пониженной теплопроводности. Например, при замене цемента гипсом теплопроводность может быть снижена на 20 %.

Первый способ повышения теплофизических свойств однослойных ограждающих легкобетонных конструкций на большинстве заводов ЖБИ и ДСК трудно осуществить, так как на заводы-изготовители часто поступают некачественные легкие и крупные заполнители, и для регулирования плотной структуры добавляют кварцевый песок. Существующие технологические линии не позволяют регулировать пористое пространство бетонов. Это приводит к тому, что легкие бетоны зачастую имеют нестабильную плотность со значительным отступлением от заложенной в проекте. Второй способ может быть легко осуществлен на всех существующих заводах ЖБИ и ДСК.

Эффективные теплые штукатурки на основе перлита нашли самое широкое применение. Штукатурные растворы отличаются составом компонентов, в частности, наполнителями, ПАВ, вяжущими (портландцемент, известь, гипс, битум, кремнийорганические вещества), технологией их приготовления и нанесения. Однако в большинстве случаев их наносят на ограждающие конструкции на строительной площадке. Теплые штукатурные растворы на основе перлита необходимо широко применять в практике строительства.

Технология изготовления однослойных строительных панелей должна также совершенствоваться за счет улучшения режимов пропарки, формовки, доводки. В частности, можно оптимизировать режим пропарки и повысить равномерность прогрева панелей улучшая конструкции пропарочных камер и обслуживающего их инженерного оборудования.

Кардинально повысить теплотехнические свойства наружных стеновых ограждений можно с помощью трехслойных панелей с гибкими металлическими связями и эффективными утеплителями, например, пенопластов типа ПСБ-С или жестких и полужестких плит из минеральной ваты теплопроводностью  $0,065...0,97 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Уплотнение окон со спаренными и одинарными переплетами рекомендуется конструировать с двойными наплавами для повышения их воздухопроницаемости. В окнах со спаренными переплетами следует обязательно уплотнить зазор между створками — это повысит температуру внутреннего стекла в зимнее время до  $2^\circ\text{C}$ . Рекомендуется применять ввинчивающиеся петли штыревого типа. Для этого необходимо предусматривать увеличение толщины наплава на оконных створках всех типов до 18 мм. Эксплуатационные показатели окон можно улучшить за счет применения дополнительного остекления, особенно в районах с суровым климатом.

Один из путей повышения качества монтажа и изготовления панелей — контроль за их теплотехническими показателями и сравнение последних с проектными (нормативными). Он может быть осуществлен на двух уровнях: при изготовлении строительных панелей до отправления их на строительную площадку; при строительстве объектов и приемке их в эксплуатацию (см. гл. V).

#### **IV. РАСЧЕТ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

##### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМИРУЕМОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ОГРАЖДЕНИЙ ЖИЛЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**Пример. 1.** Жилое здание с наружными стенами из трехслойных железобетонных панелей толщиной внутреннего и наружного слоя соответственно 10 и 7 см и средним слоем из минераловатных плит плотностью  $\gamma=150 \text{ кг/м}^3$ . Район строительства — Киев.

Расчетные данные:  $t_b=+16^\circ\text{C}$  (см. табл. 1.3). Теплопроводность: железобетона  $\lambda_{ж.б}=2,04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , минераловатных плит —  $\lambda_{м.в}=0,07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Коэффициенты теплоусвоения:  $s_{ж.б}=17,98 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ,  $s_{м.в}=0,9 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $\alpha_b=8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $\alpha_n=23,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $k=1,05$ ;  $t_{от.п}=-9^\circ\text{C}$ ;  $z_{от.п}=116 \text{ сут}$  (2780 ч);  $C_t=2,9\cdot 10^{-9} \text{ руб/кДж}$ ;  $n_{ут}=0,85$ ;  $l_t=1,3$ ;  $E_{н.п}=0,08 \text{ 1/год}$ ;  $C_{ут}=65,5 \text{ руб/м}^3$ ;  $n=1$ .

Определяем тепловую инерцию ограждения (толщина утеплителя 10, 12 и 14 см) по формуле (1.12), где  $1,5 < D < 4$ . Расчетная температура наружного воздуха равна средней температуре наиболее холодных суток и по СНиП 2.01.01-82 ( $-26^\circ\text{C}$ ).



Нормируемый температурный перепад определяем по табл. 1.10—  $\Delta t^n = 6^\circ\text{C}$ .

$$R_0^{\text{TP}} = 1 (18 + 26) (6 \cdot 8,7) = 0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_{\text{ут}}^{\text{ЭК}} = 60 \sqrt{\frac{0,85 (18 + 9) \cdot 1,05 \cdot 2780 \cdot 2,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3}{0,08 \cdot 0,067 \cdot 65,5}} = 1,61 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_0^{\text{ЭК}} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23,3} + 1,61 + \frac{0,17}{1,92} = 1,85 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

$R_0^{\text{ЭК}} > R_0^{\text{TP}}$ , поэтому толщину утеплителя определяем по  $R_0^{\text{ЭК}}$ :  $\delta_{\text{ут}} = 1,61 \cdot 0,67 = 0,10 \text{ м}$ .

Приведенное сопротивление теплопередаче стен при толщине утеплителя 10 см равно 1,2 м<sup>2</sup>·К/Вт, 12 см — 1,36, а 14 см — 1,5.

Единовременные затраты, входящие в формулу (1.20):  $C_d = (21,19 + 1,14) \times \times 1,02 + 2,16 = 24,34 \text{ руб./м}^2$ , где 21,19 — оптовая цена конструкции (Прейскурант § 06—08 «Оптовые цены на железобетонные изделия», п. д-662); 1,14 — транспортные расходы (Ценник № 3 сметных цен на перевозки грузов для строительства); 1,02 — коэффициент, учитывающий заготовительно-складские расходы к сметной стоимости материалов, изделий и конструкций франко-приобъектный склад; 2,16 — стоимость монтажа панелей (Сборник № 11 Единых районных единичных расценок на строительные работы. Расценки № 11—429, 11—447, 11—450).

Приведенные затраты для конструкций с утеплителем толщиной 10 см

$$П = 24,34 + \frac{1,05 (18 + 9) \cdot 2780 \cdot 29 \cdot 10^{-8} \cdot 1,3}{0,08 \cdot 1,2} \cdot 3600 = 35,81 \text{ руб./м}^2.$$

Аналогично определяют приведенные затраты (табл. IV.1) для стен с  $\delta_{\text{ут}} = 12$  и 14 см.

Т а б л и ц а IV.1. Техничко-экономические показатели стеновых панелей

| $\delta_{\text{ут}}, \text{ см}$ | $R_0^{\text{TP}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ | $C_d, \text{ руб./м}^2$ | $П, \text{ руб./м}^2$ |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 10                               | 1,16                                             | 24,34                   | 35,81                 |
| 12                               | 1,23                                             | 24,29                   | 35,29                 |
| 14                               | 1,30                                             | 25,59                   | 35,78                 |

По результатам экономического расчета принимается панель с утеплителем толщиной 12 см.

2. **Производственное здание** с наружными стенами из многослойных панелей размером  $3,6 \times 1,0 \times 0,06 \text{ м}$  с обшивками из стальных листов и утеплителем из пенополиуретана плотностью  $50 \text{ кг/м}^3$ . Район строительства — г. Винница. Влажностный режим помещений — нормальный.

Расчетные данные:  $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$  (см. табл. I.4);  $n = 1$ ;  $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;  $\alpha_{\text{н}} = 23,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;  $k = 1,05$ ;  $t_{\text{от.п}} = -10^\circ\text{C}$ ;  $z_{\text{от.п}} = 116 \text{ сут (2790 ч)}$ ;  $C_{\text{т}} = 2,0 \times \times 10^{-9} \text{ руб./Дж}$ ;  $n_{\text{ут}} = 0,85$ ;  $l_{\text{т}} = 1,2$ ;  $E_{\text{н.п}} = 0,081/\text{год}$ ;  $\lambda_{\text{ут}} = 0,04 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;  $C_{\text{ут}} = 183 \text{ руб./м}^3$ ;  $\Delta t^n = 8^\circ\text{C}$  (см. табл. 1.10);  $s_{\text{ут}} = 0,42 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

При толщине утеплителя  $\delta_{\text{ут}} = 4 \dots 8 \text{ см}$   $D < 1,5$ , следовательно, требуемое по санитарно-гигиеническим нормам сопротивление определяют по абсолютно-минимальной температуре наружного воздуха согласно СНиП 2.01.01-82 ( $-36^\circ\text{C}$ ):

$$R_0^{\text{TP}} = \frac{1 (18 + 36)}{8 \cdot 8,7} = 0,77 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_{\text{ут}}^{\text{ЭК}} = 60 \sqrt{\frac{0,85 (18 + 10) \cdot 1,05 \cdot 2790 \cdot 2,0 \cdot 10^{-9} \cdot 1,2}{0,08 \cdot 0,04 \cdot 183}} = 1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_0^{\text{ЭК}} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23,3} + 1,1 + \frac{0,001}{190} = 1,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$\delta_{\text{ут}} = 1,16 \cdot 0,04 = 0,054 \text{ м.}$$

Единовременные затраты  $C_d = (15,7 + 0,31) \cdot 1,0075 + 2,68 = 18,81$  руб/м<sup>2</sup>, где 15,7 руб/м<sup>2</sup> — стоимость конструкции (временные оптовые цены Ново-Синеглазовского завода строительных конструкций (Челябинск); 0,31 руб/м<sup>2</sup> — транспортные расходы;  $L = 1,0075$ ; 2,68 руб/м<sup>2</sup> — стоимость монтажа панелей (сборник № 11 Единых районных единичных расценок на строительные работы. Расценки № 11—392, 11—472, 11—449, 11—450).

По приведенному сопротивлению теплопередаче определяем приведенные затраты на панели с утеплителем толщиной 6 см.

$$П = 18,81 + 3600 \cdot \frac{1,05 (18 + 10) \cdot 2790 \cdot 2,0 \cdot 10^{-9} \cdot 1,2}{0,08 \cdot 1,62} = 24,28 \text{ руб/м}^2.$$

Аналогично определяют приведенные затраты для стеновых панелей (табл. IV.2) с  $\delta_{\text{ут}} = 4$  и 8 см.

Т а б л и ц а IV.2. Приведенные затраты для стеновых панелей

| $\delta_{\text{ут}}, \text{ см}$ | $R_0^{\text{пр}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ | $C_d, \text{ руб./м}^2$ | $П, \text{ руб./м}^2$ |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 4                                | 1,13                                             | 15,99                   | 24,31                 |
| 6                                | 1,62                                             | 18,81                   | 24,28                 |
| 8                                | 2,1                                              | 21,63                   | 25,60                 |

По результатам экономического расчета принимается панель с утеплителем толщиной 6 см.

3. Животноводческое помещение (коровник) с ограждающими конструкциями из панелей на деревянном каркасе с асбестоцементными обшивками толщиной 10 мм и утеплителем из полужестких минераловатных плит плотностью 100 кг/м<sup>3</sup> (серия 1—832—I, вып. 1) с вентилируемой воздушной прослойкой под наружной асбестоцементной обшивкой. Пункт строительства — Винницкая обл. Режим помещений влажный.

Расчетные данные:  $t_b = 10^\circ\text{C}$ ;  $\phi_b = 75\%$  (см. табл. I.6);  $n = 1$ ;  $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  (по СНиП 2.10.03—84 при удельном заполнении помещения животными не более 80 кг живой массы на 1 м<sup>2</sup> пола);  $\alpha_n = 23,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;  $K = 1,05$ ;  $C_t = 3,9 \cdot 10^{-9} \text{ руб./Дж}$  (отопление от котельной с четырьмя водонагревательными котлами «Универсал-6м»);  $z_{\text{от.п}} = 1223 \text{ ч/год}$ ;  $t_{\text{от.п}} = -10^\circ\text{C}$ ;  $n_{\text{ут}} = 0,85$ ;  $l_t = 1$ ;  $E_n = 0,12$  и  $F_{n.п} = 0,08 \text{ л/год}$ ;  $\lambda_{\text{ут}} = 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;  $l_{\text{ут}} = 51 \text{ руб./м}^2$ ;  $\delta_{\text{ут}} = 0,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ;  $\lambda_{a.ц} = 0,52 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ ;  $s_{a.ц} = 8,12 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

Тепловая инерция ограждающих конструкций толщиной утеплителя  $\delta = 8$ ; 10 и 12 см равна соответственно 4,11; 4,36 и 4,7, т. е. конструкции обладают средней инерцией. Расчетная температура наружного воздуха по СНиП 2.01.01-82 равна  $(-27)^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t^n = 4,2^\circ\text{C}$  (условие невыпадения конденсата):

$$R_0^{\text{ТР}} = \frac{1 (10 + 27)}{4,2 \cdot 8,7} = 1,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R_{\text{ут}}^{\text{ЭК}} = 60 \sqrt{\frac{1,05 (10 + 10) \cdot 0,85 \cdot 1223 \cdot 3,9 \cdot 10^{-9} \cdot 1}{0,08 \cdot 0,07 \cdot 51}} = 1,03 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Стоимость тепловой энергии при потреблении ее от котельной определяют по формуле (1.21)

$$R_0^{\text{эк}} = \frac{1}{8,7} + \frac{1}{23,3} + 1,03 + \frac{0,02}{0,52} = 1,26 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}; \delta_{\text{ут}} = 1,03 \cdot 0,07 = 0,072 \text{ м}.$$

Приведенное сопротивление теплопередачи панели 1,41 м<sup>2</sup>·К/Вт.

$C_{\text{д}} = (13,13 + 0,3) \cdot 1,02 + 4,12 = 17,82 \text{ руб./м}^2$ , где 13,13 руб./м<sup>2</sup> — оптовая цена конструкции (Прейскурант № 06—19 «Оптовые цены на облегченные асбестоцементные и другие конструкции для строительства»); 0,3 руб./м<sup>2</sup> — транспортные расходы (Ценник № 3 сметных цен на перевозку грузов для строительства, при перевозке автомобильным транспортом на расстояние 60 км); 1,02 — коэффициент, учитывающий заготовительно-складские расходы к сметной стоимости материалов, изделий и конструкций франко-приобъектный склад; 4,12 руб./м<sup>2</sup> — стоимость монтажа панелей (Сборник № 18 Единых районных единичных расценок на строительные работы. Конструкции из асбестоцемента и пластмасс. Расценка № 18-6).

$$\Pi = 15,65 + \frac{3600 \cdot 1,05 (10 + 10) 1223 \cdot 3,9 \cdot 10^{-9} \cdot 1}{0,08 \cdot 1,4} = 18,86 \text{ руб./м}^2.$$

Аналогичные расчеты проведены для стеновых панелей толщиной утеплителя 8, 10 и 12 см (табл. IV.3).

Т а б л и ц а IV.3. Техничко-экономические показатели стеновых панелей

| $\delta_{\text{ут}}, \text{ см}$ | $R_0^{\text{пр}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ | $C_{\text{д}}, \text{ руб./м}^2$ | $\Pi, \text{ руб./м}^2$ |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 8                                | 1,16                                             | 16,83                            | 20,89                   |
| 10                               | 1,41                                             | 17,82                            | 18,86                   |
| 12                               | 1,64                                             | 18,82                            | 21,53                   |

По результатам экономического расчета принимается стеновая панель толщиной утеплителя 10 см (приведенные затраты на нее наименьшие), удовлетворяющая зоогигиеническим требованиям по обеспечению нормируемого температурного перепада на внутренней поверхности.

*Мобильные* (инвентарные) контейнерные жилые и общественные, сборно-разборные производственные здания с ограждающими конструкциями из трехслойных облегченных панелей каркасного типа. В качестве наружной обшивки панелей служат металлические гофрированные листы, внутренняя обшивка — из листов фанеры толщиной 10 мм. Утеплитель — плиточный фенольно-резольный пенопласт резопен. Каркас — из металлических профилей с теплоизолирующими деревянными брусками.

Условия эксплуатации: расчетная температура внутреннего воздуха 18 °С; то же, наружного — (—40) °С; относительная влажность воздуха внутри помещения 50 ... 60 %.

Результаты расчетов значений сопротивления теплопередаче, требуемых по разным методикам, учитывающим теплоустойчивость малоинерционных конструкций и помещений в целом, особенности теплообмена в мобильных (инвентарных) зданиях приведены в табл. IV.4. Данные табл. IV.4 показывают, что значения сопротивлений теплопередаче, определенные из условия обеспеченности теплоустойчивости помещений в зимний период [35] и эквивалентности теплоустойчивости облегченных ограждений кирпичным [43], намного превышает нормируемые СНиП II-3-79 \*. Нормируемое СНиП II-3-79 \* сопротивление теплопередаче и рассчитанное по [21] хорошо согласуются только при нормальной влажности внутреннего воздуха. Хорошо согласуются между собой  $R_0^{\text{эк}}$  и  $R_0^{\text{л}}$ , рассчитанные по методике [35].

Требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций мобильных зданий следует принимать по максимальному значению  $R_0^{\text{тр}}$  и  $R_0^{\text{эк}}$ , а также

Т а б л и ц а IV.4. Требуемые теплотехнические показатели ограждающих конструкций мобильных (инвентарных) зданий в обычном исполнении

| Вид ограждающей конструкции                                                                      | $\tau_{\text{т.в.}}^{\circ\text{C}}$    | $\Delta t_{\text{н}}^{\circ\text{C}}$ | $R_0^{\text{ТР}}$ | $R_0^{\text{ЭК}}$ | $R_0^3$ | $R_0^3 \tau$ | $R_0^{\text{D}}$ | $R_0^{\text{Г}}$ | $R_0^{\text{Л}}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|---------|--------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                                                                  | $(\text{м}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$ |                                       |                   |                   |         |              |                  |                  |                  |
| Наружные стены и покрытия зданий:                                                                |                                         |                                       |                   |                   |         |              |                  |                  |                  |
| жилых контейнерных<br>( $t_{\text{в}}=18^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=50\ldots 60\%$ ) | 9,8                                     | 6                                     | 1,9               | 2                 | 5,5     | 3,2          | 1,9              | 2,3              | 2,2              |
| санитарно-бытовых<br>( $t_{\text{в}}=22^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=50\ldots 60\%$ ;  | 12,5                                    | 6,0                                   | 2,11              | 2,2               | 5,8     | 3,4          | 2,0              | 2,4              | 2,2              |
| $t_{\text{в}}=22^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}} > 75\%$ )                                | 18,4                                    | 3,4                                   | 3,44              | 2,2               | 5,8     | 3,4          | 5,3              | 2,4              | 2,2              |
| производственных<br>( $t_{\text{в}}=16^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=60\ldots 70\%$ )   | 10,5                                    | 5,5                                   | 2                 | 1,6               | 5,3     | 3,1          | 2,5              | 2,1              | 2,2              |
| Перекрытия (полы) зданий                                                                         |                                         |                                       |                   |                   |         |              |                  |                  |                  |
| жилых<br>( $t_{\text{в}}=18^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=50\ldots 60\%$ )              | 8,8                                     | 3,0                                   | 4,3               | 2,0               | 5,51    | 3,2          | 4,8              | 2,3              | 2,2              |
| служебных<br>( $t_{\text{в}}=18^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=50\ldots 60\%$ )          | 8,8                                     | 4                                     | 3,6               | 2                 | 5,5     | 3,2          | 3,6              | 2,3              | 2,2              |
| санитарно-бытовых<br>( $t_{\text{в}}=22^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=50\ldots 60\%$ )  | 8,8                                     | 4                                     | 3,91              | 2,2               | 5,8     | 3,4          | 3,8              | 2,4              | 2,2              |
| производственных<br>( $t_{\text{в}}=16^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=60\ldots 70\%$ )   |                                         |                                       |                   |                   |         |              |                  |                  |                  |
| Наружные стены и покрытия производственных сборно-разборных зданий                               |                                         |                                       |                   |                   |         |              |                  |                  |                  |
| ( $t_{\text{в}}=16^{\circ}\text{C}$ , $\varphi_{\text{в}}=60\ldots 70\%$ )                       | 10,5                                    | 5,5                                   | 1,2               | 1,6               | 3,3     | 3,1          | 1,3              | 1,3              | 1,8              |

$R_0^{\text{Л}}$ , определенному по методике [35]. Допустимый перепад между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхностью ограждений можно принимать из условия обеспеченности комфортности внутри помещения [35], но во всех случаях он не должен быть меньше требуемых значений по СНиП II-3-79 \*.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОДНОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Сопротивление теплопередаче однослойных ограждающих конструкций, характеризующее расчетные теплотери здания в зимний период, определяют по формуле (1.7.) и сопоставляют с его нормируемыми значениями, рассчитанными по формулам (1.16)... (1.18). При несоответствии проектного значения сопротивления теплопередаче данного ограждения его нормируемым величинам увеличивают толщину конструкции или применяют материал меньшей плотности либо более эффективный

В районах со среднемесячной температурой июля  $21^\circ\text{C}$  и выше нормируется теплоустойчивость ограждающих конструкций (наружных стен с тепловой инерцией менее 4 и покрытий менее 5)

зданий жилых, больничных и учебных учреждений, а также производственных зданий с нормируемыми параметрами воздуха помещений. При этом амплитуда температуры внутренней поверхности  $A_{\tau_{в}}$  указанных ограждающих конструкций не должна превышать требуемую, определяемую по формуле

$$A_{\tau_{в}}^{\text{тр}} = 2,5 - 0,1 (t_{н} - 21), \quad (\text{IV.1})$$

где  $t_{н}$  — среднемесячная температура наружного воздуха за июль, °С (СНиП 2.01.01-82).

$A_{\tau_{в}}$  рассчитывают по формуле  $A_{\tau_{в}} = A_{t_{н}}^p / \nu$ ,

где  $A_{t_{н}}^p$  — расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха, определяемая  $A_{t_{н}}^p = 0,5 A_{t_{н}} + \frac{\rho (I_m - I_{\text{ср}})}{\alpha_{н}}$ . Здесь  $A_{t_{н}}$  —

максимальная амплитуда суточных колебаний температуры наружного воздуха в июле, °С, принимаемая по СНиП 2.01.01-82;  $\rho$  — коэффициент поглощения солнечной радиации материала наружной поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по прил. 7 СНиП II-3-79\*;  $I_m$ ,  $I_{\text{ср}}$  — соответственно максимальное и среднее значения суммарной солнечной радиации (прямой и рассеянной), принимаемые согласно СНиП 2.01.01-82;

$\nu$  — затухание расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $A_{t_{н}}^p$  в ограждающей конструкции, определяемое для однослойного ограждения по формуле

$$\nu = 0,9 e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(\alpha_{в} + S)(\alpha_{н} + S)}{2S\alpha_{н}}. \quad (\text{IV.2})$$

**Сопротивление паропрооницанию** однослойной ограждающей конструкции рассчитывают по формуле

$$R_{п} = R_{п_{в}} + \frac{\delta}{\mu} + R_{п_{н}}, \quad (\text{IV.3})$$

где  $R_{п_{в}}$ ,  $R_{п_{н}}$  — сопротивление влагообмену соответственно внутренней и наружной поверхностей,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ ), значения которых зависят от условий движения воздуха у поверхности ограждающей конструкции, влажностного состояния ее материала и, в соответствии с термодинамическими условиями на поверхности, можно определить по выражению [19]

$$R_{п} = R t \ln \frac{E}{e} \cdot \frac{1}{\alpha'_m}, \quad (\text{IV.4})$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $E$ ,  $e$  — соответственно, Па, парциальное давление насыщенного и равновесного пара,  $\alpha'_m$  — коэффициент теплообмена на поверхности,  $\text{мг} / (\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ , пропорциональный отношению коэффициента теплообмена за счет конвекции и кондукции к теплоемкости и плотности смеси воздуха с паром.

Вычисленные по выражению (IV.4) при  $t_b = 18^\circ\text{C}$  сопротивления влагообмену на поверхности конструкции с разной равновесной влажностью материала приведены в табл. IV.5.

Таблица IV.5. Сопротивления влагообмену на поверхностях конструкций различной влажности [18]

| Характеристика влажности помещений                         | Относительная влажность воздуха на поверхности конструкции, % | $R_{\Pi}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Сухие, с избытком выделения тепла                          | 25                                                            | 184                                                                 |
| Сухие, отапливаемые                                        | 40                                                            | 120                                                                 |
| Нормальной влажности                                       | 55                                                            | 80                                                                  |
| Влажные                                                    | 70                                                            | 45                                                                  |
| Мокрые                                                     | 85                                                            | 21                                                                  |
| С постоянной конденсацией влаги на поверхности конструкций | 100                                                           | 0                                                                   |

Для приближенного вычисления сопротивлений влагообмена можно пользоваться зависимостью [19]

$$R_{\Pi} = 1 - \frac{\Phi}{100}. \quad (\text{IV.5})$$

Определяемое по формуле (IV.3) сопротивление паропроонианию ограждающей конструкции сравнивают с требуемыми его значениями, рассчитанными по формулам (I.25), (I.26). При несоответствии проектного значения  $R_{\Pi}$  нормируемым величинам на внутреннюю поверхность ограждающей конструкции наносят слой плотного материала малой паропроониаемости.

**Распределение влагосодержания по толщине конструкции, эксплуатируемой в сухом и нормальном влажностных режимах** (поток влаги описывается уравнением (1.3), определяют следующим образом.

Ограждение разбивают на  $n$  частей и строят линии падения температуры и парциального давления водяного пара по формулам

$$t_x = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0} R_{x-1}; \quad (\text{IV.6})$$

$$e_x = e_b - \frac{e_b - e_n}{R_{\Pi}} R_{\Pi x-1}, \quad (\text{IV.7})$$

где  $R_{x-1}$ ,  $R_{\Pi x-1}$  — соответственно сопротивления теплопередаче и паропроонианию  $x - 1$  слоев ограждения, включая сопротивление на внутренней поверхности. По температурной линии строят линии изменений парциального давления насыщенного водяного пара, а затем относительного давления водяного пара. По изотерме сорбции последняя перестраивается в линию изменения влагосодержания по толщине ограждающей конструкции.

**Распределение влагосодержания по толщине конструкции, эксплуатируемой во влажном и мокром режимах** (поток влаги опи-

сывается уравнениями (1.3), (1.4), определяют следующим образом [54]. Задают начальное распределение влагосодержания, которое в первом приближении можно определить описанным выше графическим способом.

Ограждение разбивают на  $n$  частей. Между плоскостями  $X-1$  и  $X+1$ , находящимися на расстоянии  $2\Delta x$ , перемещение влаги будет в парообразной и жидкой фазах. Для определения изменения влажности в материале в плоскости  $X$  за интервал времени  $\Delta z$  находят:

количество парообразной влаги, зависящей от плоскостей  $X-1$  и  $X$ :  $L_1 = \frac{e_{X-1} - E_X}{\Delta x} \mu \Delta z$ , где  $e_{X-1}$  — парциальное давление водяного пара в плоскости  $X-1$ ;  $E_X$  — парциальное давление насыщенного водяного пара, соответствующее температуре в плоскости  $X$ , определяемой линией падения температуры в ограждении;

количество парообразной влаги, уходящей от плоскости  $X$  к плоскости  $X+1$ :  $L_2 = \frac{E_X - e_{X+1}}{\Delta x} \mu \Delta z$ .

Если плоскость  $X$  совпадает с плоскостью вероятной конденсации (для однослойных ограждающих конструкций эта плоскость находится примерно на расстоянии  $2/3$  от внутренней поверхности), то определяют:

количество жидкой влаги, перемещающейся от плоскости  $X$  к плоскости  $X-1$ , по формуле  $L_3 = \frac{w_X - w_{X-1}}{\Delta x} \beta \Delta z$

и количество жидкой влаги, перемещающейся от плоскости  $X$  к плоскости  $X+1$ , по формуле  $L_4 = \frac{w_X - w_{X+1}}{\Delta x} \beta \Delta z$ .

Баланс влаги  $X$ -го слоя ограждения за время  $\Delta z$

$$\Delta L_X = L_1 - L_2 - L_3 - L_4.$$

Изменение влажности материала плоскости  $X$  за время  $\Delta z$

$$\Delta w_X = \frac{\Delta L_X}{L_X} = \frac{\Delta L_X}{\Delta x \gamma} \quad (\text{IV.8})$$

Баланс влаги в плоскости  $X-1$

$$\Delta L_{X-1} = L_0 - L_1 + L_3,$$

где  $L_0$  — количество парообразной влаги, притекающей к плоскости ( $X-1$ ) от плоскости ( $X-2$ ), определяемое зависимостью

$$L_0 = \frac{e_{X-2} - e_{X-1}}{\Delta x} \mu \Delta z.$$

Изменение влагосодержания ( $X-1$ ) слоя за время  $\Delta z$  определяется формулой (IV.8). Аналогично — изменение влагосодержания во всех  $n$  плоскостях ограждения. Парциальное давление пара

в плоскостях ограждения вычисляют по значениям влажности материала в этих плоскостях, определенной ранее, и по изотерме сорбции.

### РАСЧЕТ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ С ТРЕХСЛОЙНЫМИ ОГРАЖДАЮЩИМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теплозащитные качества трехслойных ограждающих конструкций из традиционных материалов характеризуются приведенным сопротивлением теплопередаче и, соответственно, разностью температуры воздуха помещений и приведенной температурой внутренней поверхности, а также температурой внутренней поверхности теплопроводных включений.

Для определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающую конструкцию условно разрезают плоскостями, параллельными направлению теплового потока, на участки, из которых одни могут быть однородными, а другие неоднородными. Термическое сопротивление  $R_{\parallel}$  определяют по формуле

$$R_{\parallel} = \sum_{i=1}^n F_i / \sum_{i=1}^n F_i / R_i, \quad (IV.9)$$

где  $F_i$  — площадь  $i$ -го участка конструкции,  $\text{м}^2$ ;  $R_i$  — термическое сопротивление  $i$ -го участка конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , определенное для неоднородных участков по формуле (I.8);  $n$  — количество участков.

Затем ограждение условно разрезают плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, на однородные и неоднородные слои, термическое сопротивление которых определяют по соответствующим формулам. Термическое сопротивление  $R_{\perp}$  определяют как сумму термических сопротивлений однородных и неоднородных слоев.

Для ограждающих конструкций, у которых  $R_{\parallel}$  превышает  $R_{\perp}$  не более чем на 25 %, приведенное термическое сопротивление рассчитывают по выражению

$$R_{\text{пр}} = \frac{R_{\parallel} + 2R_{\perp}}{3}.$$

**Пример.** Определить приведенное сопротивление теплопередаче трехслойной железобетонной панели.

Исходные данные приведены в примере расчета толщины стен жилого здания (см. с. 99). Размеры панели стены жилого дома  $6 \times 2,9$  м. Плотность слоев бетона  $2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ . В стыках панелей толщиной 300 мм термовкладыш из минераловатных плит толщиной 50 мм, снаружи стык зачеканен гермитовым шнуром теплопроводностью  $0,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  и цементным раствором. Внутренняя полость стыка замоноличена бетоном теплопроводностью  $1,92 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Ширина железобетонных ребер в панелях 40 мм.

Термическое сопротивление панели при условном разрезании ее плоскостями, параллельными направлению теплового потока,

$$R_{\parallel} = \frac{15,32 + 0,68 + 1,42}{\frac{15,32}{2,02} + \frac{0,68}{0,155} + \frac{1,42}{0,87}} = 1,27 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт},$$



где  $F_1 = 5,76 \cdot 2,66 = 15,32 \text{ м}^2$  — площадь участков стены с утеплителем;  $F_2 = 0,04 \times 2(5,8 + 2,7) = 0,68 \text{ м}^2$  — площадь участков ребер стены;  $F_3 = 0,08 \cdot 2(6 + 2,9) = 1,42 \text{ м}^2$  — площадь участков стыков панелей с термовкладышем;

$$R_1 = \frac{\delta_{ж.б} + \delta_{2ж.б}}{\lambda_{ж.б}} + \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} = \frac{0,07 + 0,1}{1,92} + \frac{0,13}{0,0075} = 2,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} — \text{тер-}$$

мическое сопротивление участков стены с утеплителем;

$$R_2 = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ж.б}} = \frac{0,3}{1,92} = 0,155 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} — \text{термическое сопротивление участков ре-}$$

бер стены.

$$R_3 = \frac{\delta_{ст} - \delta_{т}}{\lambda_{ж.б}} + \frac{\delta_{т}}{\lambda_{т}} = \frac{0,3 - 0,05}{1,92} + \frac{0,05}{0,00675} = 0,87 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} — \text{термическое}$$

сопротивление участков стыков панелей с термовкладышем.

Термическое сопротивление панели при условном разрезании ее плоскостями, перпендикулярными направлению теплового потока, состоит из суммы термических сопротивлений однородных железобетонных слоев  $R'$  и однородного внутреннего слоя  $R''$

$$R' = \frac{\delta_{1ж.б} + \delta_{2ж.б}}{\lambda_{ж.б}} = \frac{0,07 + 0,1}{1,92} = 0,088 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$R'' = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3}} = \frac{15,32 + 0,68 + 1,42}{\frac{15,32}{1,96} + \frac{0,68}{0,089} + \frac{1,42}{0,71}} = 0,885 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт},$$

где  $R_1 = \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} = \frac{0,13}{0,0674} = 1,96 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} — \text{термическое сопротивление утеплителя};$

$$R_2 = \frac{\delta_{ж.б}}{\lambda_{ж.б}} = \frac{0,05}{1,92} = 0,069 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} — \text{термическое сопротивление ребер стены};$$

$$R_3 = \frac{\delta_{т}}{\lambda_{т}} = \frac{0,05}{0,0674} = 0,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт} — \text{термическое сопротивление участков панели}$$

с термовкладышем;

$$R_{\perp} = R' + R'' = 0,088 + 0,885 = 0,973 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Приведенное термическое сопротивление рассматриваемого ограждения

$$R_{пр} = \frac{R_{\parallel} + 2R_{\perp}}{3} = \frac{1,27 + 2 \cdot 0,973}{3} = 1,16 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче трехслойной железобетонной ограждающей конструкции

$$R_0^{пр} = \frac{1}{\alpha_{в}} + R_{пр} + \frac{1}{\alpha_{н}} = \frac{1}{8,63} + 1,16 + \frac{1}{23,3} = 1,32 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Температуру внутренней поверхности теплопроводных включений трехслойных ограждений определяют по формуле

$$t'_в = t_в - \frac{t_в - t_н}{R_0 \alpha_{в}} \left[ 1 + \gamma \left( \frac{R_0}{R'_0} - 1 \right) \right], \quad (\text{IV.10})$$

где  $R'_0$ ,  $R_0$  — сопротивления теплопередаче ограждения соответственно в местах теплопроводных включений и вне этих мест;  $\gamma$  —

коэффициент, характеризующий интенсивность деформации теплового поля и зависящий от геометрической формы и размеров теплопроводного включения. Значения коэффициента  $\gamma$  для наиболее характерных видов теплопроводных включений приведены в табл. IV.6.

Т а б л и ц а . IV.6. Значения коэффициента  $\gamma$  в зависимости от его геометрической формы и размеров (по СНиП II-33-79)\*

| Схема теплопроводных включений |       | Коэффициент $\gamma$ при $a/\delta$ |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|-------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| но-<br>мер                     | эскиз | 0,02                                | 0,06 | 0,1  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,5  |
| 1                              |       | 0,12                                | 0,24 | 0,38 | 0,55 | 0,74 | 0,83 | 0,87 | 0,9  | 0,95 |
| 2                              |       | 0,07                                | 0,15 | 0,26 | 0,42 | 0,62 | 0,73 | 0,81 | 0,85 | 0,94 |
| 3                              |       | 0,25                                | 0,5  | 0,96 | 1,26 | 1,27 | 1,21 | 1,16 | 1,1  | 1    |
| 4                              |       | 0,04                                | 0,1  | 0,17 | 0,32 | 0,5  | 0,62 | 0,71 | 0,77 | 0,89 |

Минимальную температуру внутренней поверхности в углу типовой конструкции стыка трехслойных железобетонных панелей многоэтажных зданий с примыканием к стыку внутренней перегородки определяют по формуле Ф. В. Ушкова [47]

$$\tau_{\text{в}}^y = t_{\text{в}} - \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{R_0^{\text{ст}}} R_{\text{в}} \frac{2}{1 + \alpha_{\text{отн}}}, \tag{IV.11}$$

где  $R_0^{\text{ст}}$  — приведенное сопротивление стыка, определяемое по формуле  $R_0^{\text{ст}} = \frac{\delta_{\text{п}} + \delta_{\text{з}} + \delta_{\text{р}}}{\frac{\delta_{\text{п}}}{R_0^{\text{п}}} + \frac{\delta_{\text{з}}}{R_0^{\text{з}}} + \frac{\delta_{\text{р}}}{R_0^{\text{р}}}}$  Здесь  $\delta_{\text{п}}$  — половина толщины пере-

городки  $\delta_s$  — толщина зазора между перегородкой и ребром панели;  $\delta_p$  — толщина обрамляющего ребра;  $R_0^n$ ,  $R_0^3$ ,  $R_0^p$  — сопротивление теплопередаче панели соответственно в сечениях по оси перегородки, зазору и обрамляющему ребру,  $\alpha_{отн}$  — относительный коэффициент интенсивности теплообмена между перегородкой и стыком

$$\alpha_{отн} = \frac{\alpha_{в.экв}}{\alpha_в} = \frac{1}{\sqrt{Bi}}. \quad (IV.12)$$

Здесь  $\alpha_{в.экв}$  — коэффициент теплообмена, пропорциональный количеству тепла, передаваемому по перегородке в зону стыка, равный

$$\alpha_{в.экв} = \alpha_в \frac{1}{\sqrt{Bi}}; \quad (IV.13)$$

$Bi$  — критерий Био для перегородки, характеризующий в данном случае отношение тепла, поступающего из помещения через поверхность перегородки, к распределяющемуся внутри конструкции

$$Bi = \frac{\alpha_в \delta}{\lambda},$$

где  $\delta$  — характерный размер перегородки, равный половине ее толщины;  $\lambda$  — теплопроводность материала перегородки.

Теплотехнические показатели ограждающих конструкций существенно изменяются при совместном действии процессов передачи тепла и фильтрации воздуха через них, так как последняя вызывает увеличение потерь тепла через ограждение и деформацию температурного поля по сравнению с тепловым состоянием при отсутствии фильтрации.

Температурное поле ограждающей конструкции при наличии установившегося потока фильтрационного воздуха через нее описывают уравнением, полученным Ф. В. Ушковым [47]:

$$\tau(x) = t_n + (t_в - t_n) \frac{e^{CGR_x} - 1}{e^{CGR_0} - 1}, \quad (IV.14)$$

где  $R_x$  — термическое сопротивление части конструкции от наружной ее поверхности до плоскости  $x$ ;  $R_0$  — сопротивление теплопередаче всей конструкции;  $G$  — количество воздуха, фильтрующегося через ограждающую конструкцию, кг/(м<sup>2</sup>·ч);  $C$  — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении кДж/(кг·К).

Показатель степени  $CGR$  в уравнении (IV.14) — безразмерная величина, характеризующая относительную интенсивность фильтрации. С точки зрения теории подобия она представляет собой число Пекле  $Pe$ , которое характеризует отношение теплоты, переносимой конвекцией (поток фильтрующегося воздуха) к теплоте, переносимой теплопроводностью (теплопередача без фильтрации воздуха).

Формулу для определения плотности теплового потока в произвольном сечении ограждения получают путем дифференцирования уравнения (IV.14)

$$q = \frac{CGe^{CGR_x}}{e^{CGR_x} - 1} (t_в - t_n). \quad (IV.15)$$

При эксфильтрации воздуха из помещения через ограждение  $G$  в формулах (IV.14) и (IV.15) берут со знаком минус. Из формулы (IV.14) следует, что при инфильтрации тепловой поток на внутренней поверхности ограждения оказывается наибольшим. По мере приближения к наружной поверхности он уменьшается. Такое явление возникает в результате рекуперации (частичного возврата) тепла на нагрев наружного воздуха, фильтрующегося через ограждение навстречу потоку тепла.

Сопротивление теплопередаче при установившемся потоке фильтрационного воздуха рассчитывают по выражению

$$R_0'' = \frac{e^{CGR_0} - 1}{CGe^{CGR_0}}. \quad (IV.16)$$

При больших значениях потока фильтрующегося воздуха отношение  $\frac{e^{CGR_0} - 1}{e^{CGR_0}} \rightarrow 1$ , а  $R_0'' \rightarrow \frac{1}{CG} \rightarrow 0$ . При этом сопротивление теп-

лопередаче определяют по приближенной формуле  $R_0'' = \frac{1}{K_0 + CG}$ ,

где  $K_0$  — коэффициент теплопередачи.

Теплозащитные свойства ограждающих конструкций с неплотностями и щелями в основном определяются показателями проницаемости холодного воздуха. При недостаточной герметизации эти свойства могут быть полностью утрачены.

**Сопротивление воздухопроницанию** многослойных ограждающих конструкций вычисляют по уравнению

$$R_n = \sum_{i=1}^n R_{n_i}, \quad (IV.17)$$

где  $R_{n_i}$  — сопротивление воздухопроницанию  $i$ -го слоя;  $n$  — количество слоев, предполагающее одномерное направление потока воздуха сквозь конструкцию (сквозная фильтрация).

В многослойных конструкциях, отдельные слои которых существенно отличаются друг от друга по сопротивлению фильтрации, а контакты в плоскостях сопряжения слоев неплотные, наблюдается также и продольная фильтрация, когда поток воздуха достигает поверхности более плотного слоя и распространяется параллельно ей, т. е. в направлении наименьшего сопротивления.

Распределяющие потоки по направлениям  $x$  и  $y$  прямо пропорциональны градиентам давлений  $\Delta P$  по соответствующим направлениям и обратно пропорциональны сопротивлениям  $R_{n_x}$  и  $R_{n_y}$ .

Для большинства многослойных ограждающих конструкций указанные характеристики экспериментально не определены и общее сопротивление воздухопроницанию определяют по приближенной зависимости (IV.17).

Дополнительные потери тепла в помещении при наличии воздухопроницаемых ограждений рассчитывают по формуле

$$\Delta Q = \left( \sum_{i=1}^n AC_{\text{в}} G_i F_i + \sum_{j=1}^m AC_{\text{в}} G_j l_j \right) (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (IV.18)$$

где  $A$  — коэффициенты, учитывающие затраты тепла на нагрев воздуха, проникшего в помещение в результате инфильтрации;  $F_i$  — площадь стен, окон,  $m^2$ ;  $l_j$  — протяженность стыков, щелей, м.

Ориентировочно принимают [15] такие значения  $A$ :

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| Для массива стен . . . . .                                 | 0,5 |
| Для стыковых соединений . . . . .                          | 0,7 |
| Для двойных стен . . . . .                                 | 0,8 |
| Для открытых проемов окон и дверей и одинарного остекления | 1   |

Наибольшее значение  $\Delta Q$  — в здании у помещений первого этажа, расположенных с наветренной стороны. Некоторое уменьшение основных теплопотерь будет у помещений в зоне эксфильтрации здания, наибольшее — у помещений верхнего этажа на заветренной стороне.

**Пример.** Определить дополнительные теплопотери от инфильтрации в помещении первого этажа наветренной стороны 10-этажного административного корпуса в Киеве. Окна со спаренными переплетами, уплотненными пенополиуретановыми прокладками. Коэффициент воздухопроницаемости  $i=0,39$  кг/( $m^2 \cdot ч \cdot Па$ ), сопротивление воздухопроницанию  $R_n=2,6$   $m^2 \cdot ч \cdot Па^{2/3}$ /кг. Площадь оконных проемов  $F_{ок}=9,6$   $m^2$ . Стены из трехслойных железобетонных панелей. Толщина внутреннего и наружного слоев по 0,05 м. Средний слой из минераловатных плит плотностью 300 кг/ $m^3$  и толщиной 0,1 м. Площадь наружных стен в помещении  $F_c=17,4$   $m^2$ . Сопротивление воздухопроницанию стыковых соединений  $R_n=42$   $m^2 \cdot ч \cdot Па$ /кг. Общая длина стыков  $l=60$  м. Высота этажа 3 м.

Климатические условия:  $t_n=-22^\circ C$ ,  $\gamma_n=13,8$  Н/ $m^3$ ,  $v_n=5$  м/с.

В помещении:  $t_b=+18^\circ C$ ,  $\gamma_b=12,8$  Н/ $m^3$ .

**Решение.** По формуле (1.23)

$$\Delta P = 0,55 \cdot 3 \cdot 10 (13,8 - 12,8) + 0,03 \cdot 13,8 \cdot 5^2 = 26,8 \text{ Па.}$$

Количество воздуха, фильтрующегося через 1  $m^2$  окна, по формуле (1.24)  $G_{ок}=0,39(26,8)^{2/3}=3,47$  кг/( $m^2 \cdot ч$ ).

Сопротивление воздухопроницанию массива наружной стены  $R_n=19620$   $m^2 \cdot ч \cdot Па$ /кг (прил. 9 СНиП II-3-79).

Количество воздуха, фильтрующегося через 1  $m^2$  массива наружной стены, по зависимости (1.22)  $G_c=26,8/19620=1,31 \cdot 10^{-3}$  кг/( $m^2 \cdot ч$ ).

Количество воздуха, фильтрующегося через 1 м стыкового соединения,  $G_{ст}=26,8/42=0,614$  кг/( $m \cdot ч$ ).

Дополнительные затраты на нагрев инфильтрующегося воздуха по уравнению (IV.18), приняв  $C_b=1005$  Дж/(кг·К),

$$\Delta Q = (1 \cdot 1005 \cdot 3,47 \cdot 9,6 + 0,5 \cdot 1005 \cdot 1,31 \cdot 10^{-3} \cdot 17,4 + 0,7 \cdot 1005 \cdot 0,614 \cdot 60) \times \\ \times (18 + 22) / 3600 = (35\,000 + 4,6 + 26\,000) \cdot 40 / 3600 = 680 \text{ Вт.}$$

Как следует из примера, основные затраты тепла идут на подогрев воздуха, фильтрующегося через окно (57 %) и стыка (42,5 %). Поэтому особое внимание следует уделять герметизации этих участков ограждений зданий и сооружений.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТЫ, ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ И ВЛАЖНОСТИ ОБЛЕГЧЕННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Термическое сопротивление облегченных ограждающих конструкций по поверхности панелей обычно превосходит требуемые значения. Но наличие ребер жесткости существенно снижает их приведенное сопротивление теплопередаче. Принимаемый обычно ко-

эффицент теплообмена на внутренней поверхности (согласно СНиП II-3-79 \*)  $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  соответствует лучистому теплообмену между поверхностями со степенью черноты  $\epsilon = 0,91$  (штукатурка, оклейка обоями, побелка). Степень черноты внутренних обшивок облегченных ограждающих конструкций гораздо ниже (например, обшивок из алюминиевых сплавов  $\epsilon \approx 0,11$ ). При средней температуре внутренней поверхности наружных и внутренних стен коэффициент пропорциональности лучистого теплообмена  $\alpha_{\text{л}} \approx 0,6 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ , а суммарный коэффициент теплоотдачи  $\alpha \leq 4 \dots 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

В мобильных (инвентарных) зданиях, внутренняя поверхность ограждающих конструкций которых обычно оклеена обоями или побелена, коэффициенты теплоотдачи имеют меньшие значения. Это обусловлено тем, что в капитальных зданиях поверхность одной, максимум двух наружных ограждающих конструкций воспринимает лучистый поток от всех остальных конструкций, поэтому как  $\alpha_{\text{л}}$ , так и  $\alpha$  ограждений капитальных зданий выше, чем аналогичных ограждений инвентарных, у которых в некоторых случаях все шесть ограждений наружные. При теплотехнических расчетах облегченных ограждающих конструкций необходимо специально определять коэффициент теплоотдачи между внутренней поверхностью и окружающей средой.

Тепловой баланс любой поверхности  $k$  в помещении определяют уравнением

$$Q_{\text{л}k} + Q_{\text{к}k} + Q_{\text{л}k} = 0. \quad (\text{IV.19})$$

Лучистая  $Q_{\text{л}k}$ , конвективная  $Q_{\text{к}k}$  и кондуктивная  $Q_{\text{л}k}$  составляющие теплообмена на поверхностях в помещении могут изменяться во времени, иметь разные значения и знак, но уравнение (IV.19), отражающее закон сохранения энергии, неизменно для стационарных и нестационарных условий теплообмена любых видов ограждающих конструкций.

Воздух помещения при расчете лучистого теплообмена между поверхностями обычно считают лучепрозрачной средой. Каждая поверхность в помещении отдает тепло излучением и поглощает лучистое тепло, исходящее от окружающих поверхностей. Коэффициент пропорциональности лучистого теплообмена рассчитывают по формуле

$$\alpha_{\text{л}k} = \frac{1}{1/\bar{C}_{\Sigma}^4 + F_k/F_{\Sigma}(1/C_k - 1/C_0)} \cdot \frac{(\tau_{\Sigma}^{\text{np}}/100)^4 - (\tau_{\text{в}k}^{\text{np}}/100)^4}{(T_{\Sigma}^{\text{np}} - T_{\text{в}k}^{\text{np}})}, \quad (\text{IV.20})$$

где  $C_{\Sigma}^{\text{н}}$ ,  $C_k$ ,  $C_0$  — соответственно коэффициенты излучения поверхностей ограждений, находящихся в лучистом теплообмене с  $k$ -м ограждением, поверхности  $k$ -го ограждения, абсолютно черного тела,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;  $F_k$ ,  $F_{\Sigma}$  — соответственно площадь внутренней поверхности  $k$ -го ограждения и суммарная остальных ограждений в помещении,  $\text{м}^2$ ;  $\tau_{\text{в}k}^{\text{np}}$ ,  $\tau_{\Sigma}^{\text{np}}$  — соответственно приведенные температу-

ры внутренних поверхностей  $k$ -го ограждения и средняя остальных ограждений в помещении,  $K$ .

В формуле (IV.20) следующие упрощения. Не учтено многократное отражение лучистых потоков от поверхностей ограждающих конструкций так как отраженное излучение заметно меньше собственного излучения ограждения [14]. Принято, что коэффициент излучения  $k$ -й поверхности, учитывающий долю лучистого потока, падающего на  $k$ -ю поверхность от всего потока, излучаемого поверхностями ограждений помещения, равен 1 [14]. Указанные упрощения вносят погрешность в результаты расчета порядка 5 %.

Наряду с излучением в общем обмене тепла в помещении играет роль конвекция. В большинстве случаев обмен теплом между воздухом и нагретыми и охлажденными поверхностями происходит в результате естественной конвекции в ограниченном объеме помещения.

Среднее значение коэффициента свободного конвективного теплообмена на вертикальной поверхности ограждающих конструкций рассчитывают по выражению [14]

$$\alpha_k = 1,43 \sqrt{\gamma \Delta t}. \quad (\text{IV.21})$$

Движение воздуха в режиме свободной конвекции около горизонтальных поверхностей отличается от движения у вертикальных. Если горячая поверхность обращена вверх или холодная вниз, то воздух поступает в средние ее части только по границам своеобразных шестигранников, а отходит от нее в их центре.

Для подогретой горизонтальной поверхности, обращенной вниз, или холодной, обращенной вверх, интенсивность движения воздуха и конвективного теплообмена незначительна.

Средние значения коэффициента свободного конвективного теплообмена на горизонтальной поверхности рассчитывают по формуле (IV.21), но коэффициент принимают равным 1,87 при направлении потока тепла снизу вверх или 1 — сверху вниз.

Суммарный коэффициент теплоотдачи, характеризующий общий теплообмен поверхности ограждающей конструкции с окружающей средой, определяют по следующим формулам:

при  $t_b = t_R$

$$\alpha_k = \alpha_{\lambda k} + \alpha_{\kappa k}, \quad (\text{IV.22})$$

( $t_R$  — средняя радиационная температура помещения, равная

$$t_R = \left( \sum_{k=1}^k F_k \tau_{Bk}^{\text{np}} / \sum_{k=1}^k F_k \right); \quad (\text{VI.23})$$

при  $t_b \neq t_R$

$$\alpha_k = \alpha_{\lambda k} \frac{t_R - \tau_{Bk}^{\text{np}}}{t_b - \tau_{Bk}^{\text{np}}} + \alpha_{\kappa k}. \quad (\text{IV.24})$$

Коэффициент теплообмена, рассчитанный по формуле (IV.24), определяет тепловой поток по зависимости  $Q_k = \alpha_k (t_b - \tau_{bk}^{np}) F_k$ . Если температурные условия в помещении  $t_n$  [13], то тепловой поток на поверхности ограждения  $Q = \alpha'_k (t_n - \tau_{bk}^{np}) F_k$ , где

$$\alpha'_k = \alpha_{lk} \frac{t_R - \tau_{bk}^{np}}{t_n - \tau_{bk}^{np}} + \alpha_{kk} \frac{t_b - \tau_{bk}^{np}}{t_n - \tau_{bk}^{np}}. \quad (IV.25)$$

Приведенная температура внутренней поверхности ограждения, определяющая интенсивность теплообмена между человеком, находящимся в помещении, и ограждением

$$\tau_{bk}^{np} = t_b - \frac{t_b - t_n}{R_0^{np} \alpha_k}. \quad (IV.26)$$

Для облегченных многослойных ограждающих конструкций, которые отличаются от традиционных ограждений сложной конфигурацией теплопроводных включений и отношением теплопроводности отдельных их участков до  $10^4$ , простых и надежных зависимостей расчета  $R_0^{np}$  и  $\tau_b^{min}$  пока нет. Указанные теплотехнические параметры определяют расчетом стационарных температурных полей ограждающих конструкций.

Все методы расчета плоских стационарных температурных полей основаны на решении системы дифференциальных уравнений Лапласа типа (I.2). Теоретическое решение этой системы для плоских сечений реальных конструкций связано с трудностями. Поэтому наиболее универсальный и достоверный метод решения системы уравнений Лапласа — конечно-разностный.

Для расчетов двумерных стационарных температурных полей ограждающих конструкций разработаны методики и программы их реализации на быстродействующих ЭВМ [41, 62]. Результаты расчета представляют в виде температурного поля характерных сечений ограждающей конструкции. Для каждого характерного сечения рассчитывают среднюю температуру по формуле

$$\bar{\tau}_{bj} = \sum_{i=1}^I \bar{\tau}_{bji} \Delta i / \sum_{i=1}^I \Delta i, \quad (IV.27)$$

где  $\bar{\tau}_{bji}$  — температура внутренней поверхности в  $i$ -й точке;  $\Delta i$  — шаг интегрирования.

Приведенную температуру внутренней поверхности определяют по формуле

$$\tau_b^{np} = \sum_{j=1}^J \bar{\tau}_{bj} F_j / \sum_{j=1}^J F_j, \quad (IV.28)$$

где  $F_j$  — площадь  $j$ -го характерного сечения.

Приведенное сопротивление теплопередаче рассчитывают по формуле (IV.26).

Расчет температурного поля облегченной ограждающей конструкции проводят при граничных условиях III рода на внутренних



и наружных ее поверхностях и IV рода — на стыках между ее слоями итерационным методом в приведенной ниже последовательности.

Задаются значениями  $\tau_{\text{в}}^{\text{пр}}$ ,  $R_0^{\text{пр}}$  и определяют  $\alpha_{\text{в}}$  по формуле (IV.26). Рассчитывают температурное поле облегченной ограждающей конструкции в характерных ее сечениях, включающих теплопроводные включения (ребра жесткости, обрамления панелей), а также стыки между панелями при данных  $t_{\text{в}}$  и  $t_{\text{н}}$  и рассчитанном  $\alpha_{\text{в}}$ . Определяют  $\tau_{\text{в}}^{\text{пр}}$  по формулам (IV.27)...(IV.28) и  $R_0^{\text{пр}}$  по формуле (IV.26). По найденному значению  $\tau_{\text{в}}^{\text{пр}}$  рассчитывают  $\alpha_{\text{в}}$  по формуле (IV.24). При  $(\alpha^n - \alpha^{n-1}) > 0,1 \alpha^n$  расчет повторяют.

Итерационный расчет основных теплотехнических показателей считают законченным при выполнении условия

$$(\alpha^{n-1} - \alpha^n) \leq 0,1 \alpha^n. \quad (\text{IV.29})$$

Методы аналитического учета влияния воздухопроницаемости стыковых соединений облегченных многослойных ограждающих конструкций на их температурный режим не разработаны. При расчете температурного поля стыкового соединения на ЭВМ, например, по программам [41] вводят в стык теплопроводное включение в виде пластины толщиной 1 мм с переменной теплопроводностью ( $\lambda = 20 \dots 60$  Вт/(м·К)), соответствующее расходу воздуха через стык  $G = 1 \dots 3$  кг/(м·ч) [22]. Влияние инфильтрации холодного воздуха через стыки шпунт трехслойных металлических панелей «сэндвич» (ГОСТ 23486—79, тип I) на температурное поле их внутренней поверхности можно рассчитывать по формуле (IV.10). Коэффициент  $\nu$  для стыков указанных панелей экспериментально определен А. П. Кротовым [22] и приведен в табл. IV.7.

Т а б л и ц а IV.7. Значения коэффициента  $\nu$  стыков трехслойных металлических панелей (ГОСТ 23486—79, тип I)

| Толщина панели, мм | $t_{\text{в}} - t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$ | $\nu$ при расходе воздуха $G$ , кг/(м·ч) |      |      |      |      |      |
|--------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                    |                                               | 0,2                                      | 0,5  | 1    | 1,5  | 2    | 3    |
| 61,6               | 40                                            | 0,46                                     | 0,76 | 1,22 | 1,56 | 1,86 | 2,37 |
|                    | 50                                            | 0,40                                     | 0,67 | 1,1  | 1,4  | 1,7  | 2,18 |
|                    | 60                                            | 0,36                                     | 0,6  | 1    | 1,28 | 1,56 | 2,02 |
|                    | 70                                            | 0,33                                     | 0,56 | 0,9  | 1,17 | 1,44 | 1,86 |
| 81,6               | 50                                            | 0,52                                     | 0,8  | 1,3  | 1,75 | 2,12 | 2,75 |
|                    | 60                                            | 0,5                                      | 0,77 | 1,22 | 1,62 | 1,97 | 2,55 |
|                    | 70                                            | 0,49                                     | 0,75 | 1,15 | 1,52 | 1,85 | 2,4  |
|                    | 80                                            | 0,48                                     | 0,72 | 1,07 | 1,42 | 1,72 | 2,27 |

Влияние воздухопроницаемости стыковых соединений облегченных ограждающих конструкций на величину их приведенного сопротивления теплопередаче учитывать по формуле [23]  $R_{0_{\text{и}}}^{\text{пр}} = R_0^{\text{пр}} r_{\text{и}}$ , где  $r_{\text{и}}$  — эмпирический коэффициент, учитывающий влияние воздухопроницаемости, экспериментально определенный А. П. Кротовым [22] (табл. IV.8).

**Т а б л и ц а IV.8. Значения поправочного коэффициента  $r_n$**

| Воздухопроницае-<br>мость, кг/(м <sup>2</sup> ·ч) | Перепад температу-<br>ры $\Delta t = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}$ , °С | $r_n$ при сопротивлении теплопередаче основного<br>поля $R_0$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт |       |       |       |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                   |                                                                        | 1                                                                                    | 2     | 3     | 4     |
| 0,5                                               | 20                                                                     | 0,916                                                                                | 0,843 | 0,783 | 0,729 |
|                                                   | 30                                                                     | 0,914                                                                                | 0,837 | 0,774 | 0,719 |
|                                                   | 40                                                                     | 0,908                                                                                | 0,833 | 0,768 | 0,712 |
|                                                   | 60                                                                     | 0,906                                                                                | 0,82  | 0,753 | 0,695 |
|                                                   | 80                                                                     | 0,904                                                                                | 0,808 | 0,738 | 0,679 |
| 1                                                 | 20                                                                     | 0,843                                                                                | 0,723 | 0,643 | 0,573 |
|                                                   | 30                                                                     | 0,838                                                                                | 0,72  | 0,632 | 0,563 |
|                                                   | 40                                                                     | 0,832                                                                                | 0,712 | 0,631 | 0,553 |
|                                                   | 60                                                                     | 0,82                                                                                 | 0,695 | 0,63  | 0,533 |
|                                                   | 80                                                                     | 0,807                                                                                | 0,689 | 0,583 | 0,512 |
| 2                                                 | 20                                                                     | 0,727                                                                                | 0,573 | 0,472 | 0,402 |
|                                                   | 30                                                                     | 0,72                                                                                 | 0,563 | 0,462 | 0,392 |
|                                                   | 40                                                                     | 0,712                                                                                | 0,553 | 0,452 | 0,382 |
|                                                   | 60                                                                     | 0,695                                                                                | 0,533 | 0,432 | 0,363 |
|                                                   | 80                                                                     | 0,689                                                                                | 0,513 | 0,412 | 0,345 |

**Теплоустойчивость** многослойных ограждающих конструкций определяют по  $Y_i$ ,  $s_i$ ,  $\alpha_{\text{в}}$ ,  $\alpha_{\text{н}}$  в зависимости от так называемого слоя резких колебаний, для которого  $D=1$  и толщина  $\delta=\lambda/s$ . Слой меньшей толщины называют тонким, а большей — толстым. Деление это условно, так как зона перехода к регулярным колебаниям захватывает слой материала значительно большей толщины. В расчете теплоустойчивости не учитывается также и несовпадение во времени колебания теплового потока и температуры в отдельных сечениях ограждения.

При расчете многослойных конструкций понятие «слой резких колебаний» или «активный» используют для характеристики процесса в зоне нерегулярных колебаний. В той части ограждения, где происходят регулярные колебания в пределах слоя толщины  $\delta$ , располагается  $1/8,9$  длины волны, а амплитуда температурных колебаний уменьшается приблизительно в два раза. При расчете коэффициента теплоусвоения в многослойных ограждающих конструкциях учитывают только активную часть ограждения, которую захватывает слой резких колебаний ( $D=1$ ). При расчете слои нумеруют в направлении распространения температурной волны (как правило, снаружи внутрь ограждения).

Затухание расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $\nu$  в многослойной ограждающей конструкции рассчитывают по формуле

$$\nu = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(\alpha_{\text{в}} + S_1)(S_2 + Y_1) \dots (S_n + Y_{n-1})(Y_n + \alpha_{\text{н}})}{(S_1 + Y_1)(S_2 + Y_2) \dots (S_n + Y_n)\alpha_{\text{н}}} \quad (\text{IV.30})$$

При определении  $Y_i$  бывают такие характерные случаи.

Условная толщина однородного материального слоя  $i$  в конструкции равна или больше единицы, т. е.  $D_i \geq 1$ , тогда  $Y_i = s_i$ . Слой

резких колебаний захватывает второй от заданной поверхности материальный слой, т. е. только  $D_i + D_{i+1} \geq 1$ , тогда

$$Y_i = \frac{R_i S_i^2 + S_{i+1}}{1 + R_i S_{i+1}}. \quad (IV.31)$$

Слой резких колебаний захватывает третий, четвертый и т. д. слои, т. е.  $D_i + D_{i+1} < 1$ , тогда необходимо учесть влияние на  $Y_i$  всех материальных слоев, захваченных резкими колебаниями, и

$$Y_i = \frac{R_i S_i^2 + Y_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}}, \quad (IV.32)$$

где  $Y_{i+1}$  — коэффициент теплоусвоения части ограждения начиная от поверхности  $i+1$  материального слоя. Определяется по формуле (IV.31) с заменой индексов  $i$  на  $i+1$ , а  $i+1$  — на  $i+2$  в зависимости от того, сколько материальных слоев от сечения  $i+1$  захватывает слой резких колебаний.

Условная толщина всего ограждения меньше единицы. Расчет ведут по формуле (IV.32). Коэффициент теплоусвоения последнего  $n$ -го слоя в ограждении определяют по формуле

$$Y_i = \frac{R_n S_n^2 + \alpha_n}{1 + R_n \alpha_n}. \quad (IV.33)$$

Если слой ограждения не обладает тепловой инерцией (воздушная прослойка), то

$$Y_i = \frac{Y_{i+1}}{1 + R_i Y_{i+1}}. \quad (IV.34)$$

Ограждение подвергается с обеих сторон воздействию периодических температурных колебаний (внутренние конструкции, перегородки, междуэтажные перекрытия, ограждения холодильных камер с переменным режимом) и его условная толщина принята меньше двух, т. е.  $\sum_{i=1}^n D_i < 2$ . Ограждение делят на две части с одинаковой условной толщиной. Расчет теплоусвоения ведут с каждой поверхности до слоя  $m$ , в пределах которого прошла граница раздела — ось тепловой симметрии  $Y_m$  определяют по общей формуле (IV.32), считая на оси симметрии коэффициент теплоусвоения равным нулю. Поэтому

$$Y_m = \frac{R_m S_m^2 + 0}{1 + R_m 0} = R_m S_m^2, \quad (IV.35)$$

где  $S_m$  — коэффициент теплоусвоения материала слоя, через который прошла граница раздела;  $R_m$  — термическое сопротивление части слоя  $m$  до оси симметрии.

Распределение влагосодержания по толщине многослойных ограждающих конструкций на стыке между слоями определяют в граничных условиях IV рода. При описании потока влаги через ог-

раждение уравнением (1.3) граничные условия IV рода представляют в виде

$$\mu_1 \frac{\partial e_1}{\partial x_1} \Big|_{x=l} = \mu_2 \frac{\partial e_2}{\partial x} \Big|_{x=l}, \quad (IV.36)$$

$$e_1 \Big|_{x=l} = e_2 \Big|_{x=l},$$

где индексы 1 и 2 соответствуют слоям материала на стыке.

В условиях стационарной диффузии водяного пара влажностный режим ограждающих конструкций оценивают графоаналитическим методом. Для этого ограждение вычерчивают в масштабе сопротивления паропрооницанию его слоев. Точки, соответствующие значениям парциальных давлений внутреннего и наружного воздуха  $e_v$ ,  $e_n$ , соединяют прямой, а при пересечении этой линии  $e_v e_n$  с линией измерения парциального давления насыщенного водяного пара  $E$  из точек  $e_v$  и  $e_n$  проводят прямые, касательные [53].

Метод оценки влажностного состояния многослойных конструкций в условиях стационарной диффузии водяного пара можно применять только при условии, что перенос влаги происходит лишь в виде пара. Для учета переноса влаги в виде жидкости, влажностное состояние конструкций рассчитывают на основе потенциала влажности. Перенос массы (влаги) в этом случае описывают уравнением (1.6), а граничные условия:

$$\text{условие III рода } \alpha_m (\theta(x=0) - \theta_v) = -\kappa \frac{\partial \theta(x=0)}{\partial x}; \quad (IV.37)$$

$$\text{условие IV рода } \kappa_1 \frac{\partial \theta_1(x=l)}{\partial x} = \kappa_2 \frac{\partial \theta_2(x=l)}{\partial x}; \quad (IV.38)$$

$$\theta_1 \Big|_{x=l} = \theta_2 \Big|_{x=l},$$

где  $\alpha_m$  — коэффициент влагообмена,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{В})$ , для условий естественной конвенции, оцениваемый по формуле [14]

$$\alpha_m \approx 2,3 \cdot 10^{-3} \Delta t^{1/3} \Delta \theta^{2/5}.$$

Здесь  $\Delta t$  и  $\Delta \theta$  — соответственно разность температуры и разность потенциала влажности воздуха и поверхности ограждения.

Коэффициент влагопроводимости материалов  $\kappa$  в значительной степени зависит от их потенциала влажности. Поэтому влажностный режим рассчитывают способом последовательного приближения [14]. Сечение ограждения делят на элементарные слои, при этом их границы должны совпадать с границами материальных слоев конструкции.

Задаются линейным распределением потенциала влажности по сечению ограждающей конструкции. В пределах каждого слоя коэффициент влагопроводимости  $\kappa_i$  принимают постоянным, соответствующим потенциалу влажности слоя  $\theta_i$ . Общее сопротивление влагопередаче конструкции определяют по формуле  $R_\theta = \sum_{i=1}^n \delta_i / \kappa_i$

(сопротивлениями влагообмена на поверхности конструкции обычно пренебрегают). Соответствующий ему поток влаги

$$j = \frac{\theta_v - \theta_n}{R_\theta}.$$

Расчет ведут от слоя к слою. Коэффициент влагопроводимости первого слоя, граничащего с внутренней поверхностью, принимают по потенциалу влажности внутренней поверхности и вычисляют значение  $\theta_2$  на противоположной границе слоя (на границе со вторым слоем)

$$\theta_2 = \theta_1 - j \frac{\delta_1}{\kappa_1}.$$

Полученное значение  $\theta_2$  — исходное для определения  $\kappa_2$  в пределах второго слоя. Расчет продолжают до последнего слоя, граничащего с наружным воздухом. Если полученное для наружной поверхности значение  $\theta_n$  отличается от заданного  $\theta_n$ , то в принятое значение потока влаги  $j$  вводят поправку и расчет повторяют до тех пор, пока вычисленное значение  $\theta_n$  не будет достаточно близко к  $\theta_n$ .

При необходимости учета изменения влажности материалов ограждающих конструкций во времени рассчитывают нестационарные влажностные поля. При описании процесса переноса влаги уравнениями (1.3), (1.4) в основу расчета принимают метод последовательного увлажнения, разработанный К. Ф. Фокиным [54], а при описании процесса уравнением (1.6) — метод В. Н. Богословского [14]. Выполнение практических расчетов нестационарной влагопередачи вручную весьма трудоемко. Использование ЭВМ для этих целей [40] позволяет сократить затраты времени до минимума.

#### ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДЕНИЙ С ВОЗДУШНЫМИ ПРОСЛОЙКАМИ

Воздушные прослойки в наружных стенах и перекрытиях обычно используют для снижения влагосодержания теплоизолирующего материала конструкции. Они бывают герметичными и вентилируемыми. Сопротивление теплопередаче воздушной прослойки следует определять с учетом того, что передача тепла через нее происходит в основном конвекцией и излучением. Плотность теплового потока через герметичную воздушную прослойку оценивают по формуле

$$q = q_k + q_l = \alpha'_k (\tau_1 - \tau_2) + \alpha'_l (\tau_1 - \tau_2) = (\alpha'_k + \alpha'_l) \Delta \tau.$$

Конвективный теплообмен в прослойке обусловлен циркуляцией воздуха. В вертикальных прослойках при соизмеримых их высоте и толщине восходящие потоки вдоль поверхности с температурой  $\tau_1$  и нисходящие вдоль поверхности с температурой  $\tau_2$  могут двигаться без взаимных помех. В тонких прослойках они взаимно тор-

мозятся и образуют внутренние циркуляционные контуры, высота которых зависит от ширины щели.

Коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha'_н$  рассчитывают в зависимости от произведения критериев Грасгофа и Прандтля. При  $GrPr < 1000$  и средней температуре воздуха в прослойке  $0^\circ\text{C}$

$$\alpha'_к = \lambda_{в.п} / \delta_{в.п} , \quad (IV.39)$$

т. е. передача тепла через слой воздуха происходит при  $GrRr > 1000$  и средней температуре воздуха в прослойке  $0^\circ\text{C}$

$$\alpha'_к = 2,4 (\Delta\tau / \delta_{в.п})^{0.25} . \quad (IV.40)$$

Численный коэффициент в формуле (IV.40) увеличивается приблизительно на 4 % при понижении средней температуры на  $10^\circ\text{C}$  [14].

В горизонтальной прослойке, если верхняя поверхность нагрета больше чем нижняя, перемешивание воздуха незначительно и  $\alpha'_к$  можно оценивать по формуле (IV.39). При потоке тепла снизу вверх значения  $\alpha'_к$  оценивают по формуле (IV.40), но увеличивают его в зависимости от толщины прослойки: при  $\delta_{в.п} = 10$  мм — на 20 %, при  $\delta_{в.п} = 50$  мм — на 45, при  $\delta_{в.п} = 100$  мм — на 25, при  $\delta_{в.п} = 200$  мм — на 5 [14].

Коэффициент лучистого теплообмена для прослоек с плоской формой каналов и соотношением сторон 1 : 3 и менее для большинства строительных материалов при средней температуре воздуха  $0^\circ\text{C}$  составляет около  $4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  (расчет ведут по формуле (IV.20), а для квадратных прослоек —  $4,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ).

$\alpha'_л$  значительно больше  $\alpha'_к$  — основное тепло через прослойку передается излучением. Для уменьшения потока тепла теплую поверхность прослойки покрывают фольгой, что уменьшает лучистый поток приблизительно в 10 раз [14]. Оклеивка фольгой второй поверхности не приносит результата. Эффективный метод увеличения сопротивления теплопередаче воздушной прослойки — разделение ее тонкими стенками на ряд узких слоев.

Наиболее эффективная толщина воздушной прослойки без экранов в вертикальных ограждениях 75...95 мм. Для горизонтальной прослойки при передаче тепла снизу вверх или сверху вниз с увеличением толщины сопротивление теплопередаче возрастает, однако утолщение больше 50 мм не рационально, так как при этом теплопередача уменьшается уже незначительно.

С уменьшением герметичности прослойки снижается ее сопротивление теплопередаче, особенно резко для прослойки, расположенной ближе к внутренней стороне, при попадании в нее наружного воздуха. Внутренний воздух может содержать значительное количество влаги, которая конденсируется при проникании воздуха в прослойку, что приводит к увлажнению конструкции и также снижает ее теплозащитные качества. Для предупреждения переувлажнения в ограждающих конструкциях устраивают вентилируемые воздушные прослойки.

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций с вентилируемыми воздушными прослойками заключается в определении тем-

пературы в произвольном сечении прослойки, определении теплопередачи через конструкцию, расхода воздуха через прослойку и оценки возможности конденсирования паров воздуха в ней.

На некотором расстоянии  $l$  поток воздуха приобретает неизменную температуру  $t'$ , зависящую от условий теплопередачи через ограждение и не связанную с его начальной температурой [14]

$$t' = t_b - \frac{1}{K_b R_0} (t_b - t_n) = \frac{K_b t_b + K_n t_n}{K_b + K_n}, \quad (\text{IV.40})$$

где

$$R_0 = \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_n} = \frac{K_b + K_n}{K_b K_n}. \quad (\text{IV.41})$$

При определении коэффициентов теплопередачи  $K_b$  и  $K_n$  учитывают только конвективные составляющие теплообмена на поверхностях прослойки

$$K_b = \frac{1}{1(\alpha_b + R + 1)\alpha_k}; \quad K_n = \frac{1}{1(\alpha_k + R + 1)\alpha_n}. \quad (\text{IV.42})$$

Массовый расход воздуха в прослойке определяют по формуле

$$j = v \gamma \delta 3600, \quad (\text{IV.43})$$

где  $v$  — скорость движения воздуха, рассчитываемая по формуле

$$v = \sqrt{\frac{(\kappa_1 - \kappa_2) v_n^2 + 0,08h(t_{cp} - t_n)}{\Sigma \zeta}}. \quad (\text{IV.44})$$

Здесь  $\kappa_1, \kappa_2$  — аэродинамические коэффициенты на входе в прослойку и выходе из нее;  $v_n$  — скорость ветра;  $h$  — высота прослойки;  $\Sigma \zeta$  — сумма коэффициентов местных сопротивлений (ориентировочно 0,5 — на входе, 1 — на выходе, 1 — на каждый поворот потока воздуха). Если местными сопротивлениями являются только вход и выход воздуха с двумя поворотами потока, а отверстия вертикальной прослойки расположены на одной стороне здания ( $\kappa_1, \kappa_2$ ), то формулу (IV.44) представляют в виде  $v = 0,15 \sqrt{h(t_{cp} - t_n)}$ .

Увлажнение внутренней части ограждающей конструкции с вентилируемой воздушной прослойкой не будет, если воздух способен ассимилировать влагу на всем протяжении прослойки, т. е. если парциальное давление пара по всей длине меньше парциального давления насыщенного водяного пара. Условие отсутствия конденсации паров воздуха в прослойке записывают в виде неравенства

$$e_l < E_{t_l}. \quad (\text{IV.45})$$

Парциальное давление пара в конце канала рассчитывают по формуле [14]

$$\frac{e(x) - e'}{e_0 - e'} \sim 1 - \frac{R_n^b + R_n^n}{1,2j\eta} x, \quad (\text{IV.46})$$

где  $R_n^b, R_n^n$  — сопротивления паропроонианию соответственно внутреннего и наружного (относительно прослойки) слоев, определяемые по формуле (IV.5);  $\eta$  — удельная влагоемкость воздуха (спо-

способность 1 кг воздуха ассимилировать определенное количество водяного пара, г, при изменении его парциального давления на 1 Па), рассчитываемая по формуле

$$\eta = 8,27 \cdot 10^4 / (P - 0,387e). \quad (IV.47)$$

Здесь  $P$  — полное барометрическое давление.

Точность теплотехнического расчета вертикальных ограждений с вентилируемой воздушной прослойкой можно увеличить, если скорость движения воздуха определять по зависимости

$$v = v' J_1 J_2, \quad (IV.48)$$

где  $v'$  рассчитывают по формуле [63]

$$v' = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 8gBC_B K_H \vartheta (t_H + 273)(t_H - t_B)}}{2BC_B \vartheta (t_H + 273)}. \quad (IV.49)$$

Здесь  $B = \delta_{в.п} \gamma / h$ ;  $\vartheta = 1 + \Sigma \xi$ ; (IV.50)

$$A = 2gBC_B h (t_H - t_0) + (K_B + K_H) \vartheta (t_H + 273).$$

При  $t_0 = t_H$

$$v' = - \frac{K_B + K_H}{2BC_B} + \sqrt{\left( \frac{K_B + K_H}{2BC_B} \right)^2 + \frac{2gK_H h (t_H + t_B)}{BC_B \vartheta (t_H + 273)}}; \quad (IV.51)$$

$j_1, j_2$  — поправочные коэффициенты, полученные путем сопоставления результатов точного решения задачи на ЭВМ с инженерным методом для различных вариантов вентилируемых конструкций [63]:  $\tau_1 = 1,23$  при  $v = 0,25 \dots 0,75$  м/с,  $\tau_1 = 1,1$  при  $v = 0,75 \dots 0,9$  м/с,  $\tau_1 = 1$  при  $v = 0 \dots 0,25$  м/с и  $v = 0,9 \dots 1$  м/с,  $\tau_2 = 0,01t_H + 1,12 - 0,0195h$  — для стен с наружной частью в виде утепленного экрана и  $\tau_2 = (0,043 - 0,001h)t_H + 1,45 - 0,024h$  — для стен с наружной частью в виде утепленного экрана.

Коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha'_k$  воздуха по длине прослойки оценивают по формуле [63]

$$\alpha'_k = (3,474 - 0,0079t_{cp}) v^{0,8} \delta_{в.п}^{-0,2}. \quad (IV.52)$$

Среднюю температуру воздуха в вентилируемой прослойке определяют по формуле

$$t_{cp} = \left\{ \frac{Ah}{K_B + K_H} + \frac{[t_0 (K_B + K_H) - A] j C_B \left( 1 - e^{-\frac{K_B + K_H}{j C_B} h} \right)}{(K_B + K_H)^2} \right\} / h. \quad (IV.53)$$

Расчет ведут в такой последовательности. Находят коэффициенты сопротивлений трения воздуха и аэродинамических сопротивлений [63]. Задаются  $\alpha'_k = 3 \dots 4$  Вт/(м<sup>2</sup>·К). По формуле (IV.48) находят  $A$  и  $B$ , а по формуле (IV.57) или (IV.49) —  $v'$ . С учетом коэффициентов  $J_1, J_2$  определяют  $v$ . Расход воздуха рассчитывают по формуле (IV.43), среднюю температуру по зависимости — (IV.53). Уточняют значение  $\alpha'_k$  по формуле (IV.52). Если разность  $\alpha_k - \alpha'_k$  не удовлетворяет условию (IV.29), необходимо принять значение  $\alpha'_k$  в качестве исходного и повторить расчет. Затем опре-



деляют  $R_0$  по формуле (IV.41). Оценивают возможность выпадения конденсата в прослойке по формулам (IV.45)...(IV.47).

Учет снижения уровня теплозащиты облегченных слоистых ограждающих конструкций с вентилируемыми воздушными прослойками и каналами за счет внутренней конвекции воздуха можно осуществлять по формуле [23]

$$R_{0k}^{np} = R_0^{np} r_k,$$

где  $r_k$  — коэффициент, учитывающий дополнительный перенос тепла за счет внутренней конвекции воздуха, определяемый по зависимости

$$r_k = Q_0 / (Q_0 + Q_k),$$

где  $Q_0$  — количество тепла, передаваемое через основное поле ограждения;  $Q_k$  — количество тепла, переносимое при внутренней конвекции воздуха от одной поверхности ограждения к другой, и определяемое по зависимости

$$Q_k = \frac{hC}{8R_n} (t_1 - t_2) (\gamma_2 - \gamma_1) k.$$

Здесь  $h$  — высота воздушной прослойки;  $R_n$  — сопротивление воздухопроницанию утеплителя;  $k$  — коэффициент, учитывающий особенности вертикальных каналов, образованных вертикально расположенным профилированным листом с высотой складки не менее 10 мм, рассчитываемый по формуле  $k = (a + l - b) / 2l$ , где  $a$  и  $b$  — соответственно ширина полки профилированного листа, удаленной от утеплителя и прилегающей к нему;  $l$  — шаг складки профилированного листа.

Лучистую составляющую теплообмена в прослойке можно учитывать по графикам, приведенным в [63]. Влажностное состояние многослойных ограждающих конструкций с вентилируемыми воздушными прослойками достаточно точно определяют расчетами на ЭВМ по методике [40].

#### ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ПОЛОВ ЗДАНИЙ

Количество слоев остекления светопрозрачного ограждения выбирают в зависимости от требуемого сопротивления теплопередаче окна по СНиП II-3-79\* или рассчитывают по формуле

$$R_0^{tp} = (t_v - t_n) \bar{R}_v / (t_v - \tau_v^d).$$

Допустимую температуру внутренней поверхности окон по формуле

$$\tau_v^d = 14 - 3,5 / \varphi_{ч-ок}.$$

Коэффициент излучения тепла от тела человека на поверхность окна оценивают по зависимости

$$\varphi_{ч-ок} = 1 - 0,8l / \sqrt{F_{ок}},$$

где  $l$  — расстояние от окна до обслуживаемой или рабочей зоны.

Количество слоев остекления определяется значением требуемого сопротивления теплопередаче. При  $R_0^{tp} < 0,17 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$  прини-

мают однослойное остекление, при  $R^{тр_0}=0,17...0,39 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  — двухслойное, при  $R^{тр_0}=0,39...0,52 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$  — трехслойное.

Среднее значение сопротивления теплопередаче окон

$$R_0^{тр} = \bar{R}_B + \Sigma \bar{R}_{B.п} + \Sigma \bar{R} + \bar{R}_H. \quad (IV.54)$$

Среднее значение сопротивления тепловосприятию

$$\bar{R}_B = 1 / (\bar{\alpha}_K + \bar{\alpha}_L), \quad (IV.55)$$

где  $\bar{\alpha}_K = 1,45 (t_F - \tau_B)^{1/3}$ ;

$$\bar{\alpha}_L = 0,43 \frac{\left[ \left( \frac{273 + t_B}{100} \right) - \left( \frac{273 + \tau_B}{100} \right) \right]^4}{(t_B - \tau_B)}. \quad (IV.56)$$

Среднее термическое сопротивление воздушной прослойки

$$\bar{R}_{B.п} = 1 / (\bar{\alpha}_{K_{B.п}} + \alpha_{L_{B.п}}), \quad (IV.57)$$

где  $\alpha_{K_{B.п}}$  — средний коэффициент теплоотдачи конвекцией в воздушной прослойке, оцениваемый по зависимости

$$\bar{\alpha}_{K_{B.п}} = 0,41 [(\bar{\tau}_1 - \bar{\tau}_2) / \delta_{B.п}]^{0,25}. \quad (IV.58)$$

Здесь  $\tau_1, \tau_2$  — средняя температура соответственно на поверхностях остекления и в воздушной прослойке;  $\delta_{B.п}$  — ширина воздушной прослойки;  $\alpha_{L_{B.п}}$  — средний коэффициент теплоотдачи излучением в воздушной прослойке, определяемый по формуле (IV.56), в которой вместо значений  $t_B$  и  $\tau_B$  подставляют соответственно значения  $\bar{\tau}_1, \bar{\tau}_2$ .

Термическое сопротивление слоя остекления находят по формуле  $\bar{R}_i = \delta_i / \bar{\lambda}_i$ , а среднее значение сопротивления теплоотдаче у наружной поверхности принимают равным  $\bar{R}_H = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Среднюю температуру на поверхностях трехслойного остекления окон определяют по формулам:

$$\begin{aligned} \tau_B &= t_B - (t_B - t_H) \bar{R}_B / \bar{R}_0, \\ \bar{\tau}_1 &= t_B - (t_B - t_H) (\bar{R}_B + \bar{R}_1) / \bar{R}_0, \\ \bar{\tau}_2 &= t_B - (t_B - t_H) (\bar{R}_B + \bar{R}_1 + \bar{R}_{1_{B.п}}) / \bar{R}_0, \\ \tau_3 &= t_B - (t_B - t_H) (\bar{R}_B + \bar{R}_1 + \bar{R}_{1_{B.п}} + \bar{R}_2) / \bar{R}_0, \\ \bar{\tau}_4 &= t_B - (t_B - t_H) (\bar{R}_B + \bar{R}_1 + \bar{R}_{1_{B.п}} + \bar{R}_2 + \bar{R}_{2_{B.п}}) / \bar{R}_0, \\ \bar{\tau}_H &= t_B - (t_B - t_H) (\bar{R}_B + \bar{R}_1 + \bar{R}_{1_{B.п}} + \bar{R}_2 + \bar{R}_{2_{B.п}} + \bar{R}_3) / \bar{R}_0. \end{aligned} \quad (IV.59)$$

При этом для однослойного остекления принимают  $\bar{R}_2 = \bar{R}_3 = \bar{R}_{1_{B.п}} = \bar{R}_{2_{B.п}} = 0$ , а для двухслойного  $\bar{R}_3 = \bar{R}_{2_{B.п}} = 0$ .

Локальные значения температуры  $\tau_B, \tau_i$  на разных поверхностях остекления средней зоны определяют по формулам (IV.59), в кото-

рые вместо  $\bar{R}_в$ ,  $\bar{R}_i$ ,  $\bar{R}_{в.п}$  подставляют соответственно локальные значения  $R_в$ ,  $R_i$ ,  $R'_{в.п}$ , оцениваемые по зависимости [42]

$$R_{в.п} = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\alpha'_{к_{в.п}} (\tau_1 - \tau_m) + \alpha''_{к_{в.п}} (\tau_m - \tau_2) + \alpha_{л_{в.п}} (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (IV.60)$$

где  $\alpha'_{к_{в.п}}$  — локальный коэффициент конвективной теплоотдачи у теплой поверхности остекления прослойки:

$$\alpha'_{к_{в.п}} = 1,3 (\tau_1 - \tau_m)^{0,3} / x^{0,1}; \quad (IV.61)$$

$\alpha''_{к_{в.п}}$  — локальный коэффициент теплоотдачи у холодной поверхности с температурой  $\tau_2$  остекления прослойки

$$\alpha''_{к_{в.п}} = 1,3 (\tau_m - \tau_2)^{0,3} / (\delta_{в.п} - x)^{0,1}; \quad (IV.62)$$

$\tau_m$  — температура в ядре воздушной прослойки:

$$\tau_m = \tau_1 - (\tau_1 - \tau_2) \left[ 0,83 - 0,6 \left( \frac{x}{\delta_{в.п}} \right) \right]. \quad (IV.63)$$

При определении температурных полей в средней зоне остекления применяют [42] следующую схему расчета, основанную на методе последовательных приближений.

Определяют термическое сопротивление отдельных слоев. Принимают  $\bar{R}_в = 0,114 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ,  $\bar{R}_н = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ , а значения  $\bar{R}_{в.п}$  устанавливают по прил. 4 СНиП II-33-79\*. Находят по формуле (IV.54) среднее значение  $\bar{R}_0$ . Определяют средние значения температуры на разных поверхностях остекления по формулам (IV.59). Среднюю зону остекления разбивают по высоте окна на ряд сечений  $x_1, \dots, x_n$  и по формуле (IV.63) определяют для них температуру в ядре воздушной прослойки. Рассчитывают локальные коэффициенты теплоотдачи конвекцией и излучением по формулам (IV.56), (IV.61), (IV.62). Находят  $R_{в.п}$  по формуле (IV.60).

По формуле типа (IV.54) определяют локальные значения сопротивления теплопередаче. По формулам (IV.59) находят новые значения (уточненные) температуры на разных поверхностях остекления. Расчет  $\tau_m$ ,  $R_в$ ,  $R_{в.п}$  повторяют и уточняют до тех пор, пока в двух последних приближениях эти значения не будут отличаться друг от друга не более чем на 10 %.

Теплопотери через окна

$$Q = Q_0 + Q_{ср} = [(t_в - t_н) F_{ок} / R_{0_{ок}}^{np}] + C_в G F_{ок} (t_в - t_н),$$

где  $G$  не должно превышать  $10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  для окон жилых зданий, а для окон и фонарей производственных — величин, приведенных в табл. 1.14 и формулах (I.23), (I.24).

Полы зданий и сооружений, в соответствии с требованиями СНиП II-3-79\*, разделяют на следующие основные группы [18]:

полы отапливаемых помещений с повышенными эксплуатационными требованиями (жилые здания, больничные и детские учреж-

дения), где человек находится в состоянии покоя или движения длительное время в домашней обуви, и не выполняет физической работы, должны иметь показатель теплоусвоения не более 11,6 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

полы отапливаемых помещений с нормальными эксплуатационными требованиями (общественные здания кроме перечисленных выше; вспомогательные и производственные здания с долговременным пребыванием людей), где люди выполняют легкую физическую работу в модельной обуви, должны иметь показатель теплоусвоения поверхности не более 14 Вт/(м<sup>2</sup>·К);

полы отапливаемых производственных помещений с нормальными эксплуатационными требованиями и постоянными рабочими местами, где люди выполняют работу категории средней тяжести в модельной обуви, должны иметь показатель теплоусвоения не более 17,5 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Показатель теплоусвоения поверхности пола  $Y_n$  рассчитывают следующим образом.

При тепловой инерции первого слоя конструкции  $D_1 = R_1 s_1 \geq 0,5 \cdot Y_n = 2s_1$ .

При  $D_1 = R_1 s_1 < 0,5$ , если тепловая инерция первых двух слоев  $D_1 + D_2 \geq 0,5$ ,  $Y_n = \frac{2R_1 s_1^2 + s_2}{0,5 + R_1 s_1}$ .

При  $D_1 + D_2 = R_1 s_1 + R_2 s_2 < 0,5$ , если тепловая инерция первых двух слоев  $D_1 + D_2 + D_3 \geq 0,5$

$$Y_n = \frac{4R_1 s_1^2 (0,5 + R_2 s_3) + 2R_2 s_2^2 + s_3}{0,5 + R_2 s_3 + R_1 (2R_2 s_2^2 + s_3)}.$$

## **V. КОНТРОЛЬ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

существуют две группы методов определения тепловых характеристик материалов — тепло- и температуропроводности, а также удельной теплоемкости: стационарного и нестационарного потоков тепла. Первые основаны на гипотезе Фурье для стационарного теплового потока (см. формулу (I.1)). Из них наибольшее применение имеют методы плоского слоя, трубы и шара.

При реализации указанных методов исследуемому материалу (образцу) придают форму пластины, цилиндрической полый трубы или цилиндрической оболочки, внутри которых создается соответствующее (плоское, цилиндрическое) температурное поле. Для устранения тепловых потерь применяют нагреватели, кольца, колпачки. В соответствии с ГОСТ 7076—78 теплопроводность строительных материалов определяют методом плоского слоя на образцах сечением 250×250 мм и толщиной 10...50 мм в диапазоне температу-

ры — 30...+70 °С. Относительная погрешность определения теплопроводности сухих материалов этими методами 3...5 %.

Стационарные методы пригодны для сухих материалов, требуют значительного времени и определяют только одну характеристику — теплопроводность.

Удельную теплоемкость строительных материалов определяют по ГОСТ 23250—78 методом смешения основанного на введении предварительно нагретого образца исследуемого материала до температуры  $t'$  в калориметр с начальной температурой  $t_0$ , из теплового баланса которого по измеренной общей температуре  $t''$  капсулы с материалом и калориметра определяют среднюю удельную теплоемкость материала в интервале температуры  $(t'—t'')$ . Относительная погрешность определения удельной теплоемкости 3...5 %.

Преимущества нестационарных методов перед стационарными — в значительном уменьшении времени проведения эксперимента, снижении требований к тепловой защите, отсутствии необходимости измерять тепловые потоки, возможности исследования с их помощью влажных материалов в широком диапазоне температуры.

Методы экспериментального определения тепловых характеристик, базирующиеся на закономерностях нестационарного теплового потока, разделяют на три подгруппы: регулярного теплового режима, квазистационарного теплового режима, начальной стадии развития нестационарного температурного поля.

При определении теплофизических характеристик строительных и теплоизоляционных материалов при температуре близкой к комнатной широко применяют методы регулярного режима первого рода, а при температуре — 100...+400 °С — методы монотонного режима.

Под регулярным режимом первого рода понимают упорядоченную, свободную от начальных условий стадию охлаждения (нагревания) тела в среде с постоянными температурой и коэффициентом теплоотдачи с изменением температуры во времени для любой точки тела, описываемым показательной функцией

$$v = t - t_c = AUe^{-mz}, \quad (V.1)$$

где  $v$  — избыточная температура тела;  $t$  — температура в фиксированной точке тела;  $t_c$  — температура окружающей среды;  $A$  — коэффициент, зависящий от формы тела и начального распределения температуры;  $U$  — функция координат;  $m$  — темп охлаждения (постоянная величина, не зависящая от координат и времени  $t$ ).

Теория регулярного режима устанавливает зависимость темпа охлаждения тела от его физических свойств, геометрической формы и размеров, условий теплообмена с окружающей средой. Решение уравнения (V.1) относительно теплопроводности используют как исходное при экспериментальных исследованиях.

В эксперименте определяют темп охлаждения, характеризующего относительную скорость изменения температуры тела во времени

$$m = -\frac{1}{v} \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\ln v_1 - \ln v_2}{z_1 - z_2}, \quad (V.2)$$

где  $v_1=v_{z_1}$ ,  $v_2=v_{z_2}$  — избыточные значения температуры в фиксированной точке тела в моменты времени  $z_1$  и  $z_2$ , которые измеряют с помощью дифференциальной термопары, подключенной к гальванометру. По данным этих измерений строят график  $\ln v = f(z)$  и определяют  $m$  — угловой коэффициент линейного участка, характеризующий регулярный режим.

Регулярная стадия опыта в телах простой формы с равномерным начальным распределением температуры обычно наступает при значениях числа  $Fo > 0,5$ . Погрешность измерения около 5 %.

Методы монотонного теплового режима, под которым понимают плавное охлаждение (разогрев) тела в широком диапазоне изменения температуры со слабо переменным полем скоростей внутри образца, основываются на закономерностях приближенного анализа нелинейного определения теплопроводности. Они обобщают квазистационарные на случай переменных теплофизических параметров и скорости охлаждения (нагрева) и положены в основу определения теплофизических свойств пластмасс по ГОСТ 23630.1—79 и ГОСТ 23630.2—79.

Сущность метода определения удельной теплоемкости пластмасс по ГОСТ 23630.1—79 состоит в измерении теплового потока, поглощаемого образцом в процессе монотонного режима нагрева динамического калориметра, характеризуемого временем запаздывания температуры на термометре с известной эффективной теплопроводностью. Погрешность измерений 3...5 %.

Сущность метода определения теплопроводности пластмасс по ГОСТ 23630.2—79 (метод  $\lambda$ -калориметра) состоит в измерении теплового сопротивления образца при монотонном режиме нагрева его при заданных значениях температуры испытания. Погрешность измерений составляет 3...7 %.

Метод определения теплопроводности бетонных панелей цилиндрическим зондом по ГОСТ 22024—76 основан на зависимости изменения температуры помещенного в бетон нагреваемого тела (зонда) от теплопроводности окружающего его материала.

Зонд нагревают в течение 15 мин, фиксируя при этом э. д. с. термопары. Контактное сопротивление между зондом и материалом должно быть сведено к минимуму. Погрешность измерения теплопроводности сухих бетонов 5...7 %.

Импульсные методы основаны на решении двумерного уравнения теплопроводности для неограниченного тела при действии в нем в течение короткого времени линейного источника тепла. При реализации методов в исследуемом образце размещают линейный источник (провода диаметром 0,05...0,1 мм с малым температурным коэффициентом сопротивления), а на расстоянии  $r$  от него — дифференциальную термопару. Начальная температура образца должна быть равна температуре окружающей среды. По измеренному времени прохождения температурной волны от нагревателя до термопары рассчитывают температуропроводность и теплопроводность материала в соответствии с уравнениями формирования нестационарного температурного поля [23].

По указанным характеристикам и плотности материала рассчитывают его теплоемкость по формуле

$$C = \lambda / \alpha \gamma. \quad (V.3)$$

Плотность теплоизоляционных материалов определяют по ГОСТ 17177.3—81, бетонов плотных — по ГОСТ 12730.1—78, бетонов ячеистых — по ГОСТ 12852.2—77.

Относительная погрешность определения теплофизических свойств сухих и влажных материалов импульсными методами не превышает 5 %.

**Коэффициент паропроницаемости** строительных материалов определяют методом стационарного потока влаги по ГОСТ 12852.5—77 при относительной влажности воздуха с одной стороны образца, близкой 100 %, а с другой — 50...60 %. Полученные значения коэффициента паропроницаемости соответствуют сорбционной влажности материала при относительной влажности воздуха 75...80 %. Коэффициенты паропроницаемости пересчитывают на меньшие значения влажности  $w_x$  по формуле [19]

$$\mu_x = \mu_{80} w_x / w_{80}, \quad (V.4)$$

где  $\mu_{80}$  коэффициент паропроницаемости, соответствующий по изотерме сорбции относительной влажности воздуха 80 %;  $w_{80}$  — массовая влажность материала, соответствующая по изотерме сорбции относительной влажности воздуха 80 %.

**Коэффициент влагопроводности**  $\beta$  строительных материалов определяют методом стационарного потока влаги [54] при комнатной температуре. Влияние на него температуры оценивают изменением вязкости и поверхностного натяжения связанной воды при разных значениях температуры  $t$  и  $t'$  по формуле

$$\beta_t = \beta_{t'} \frac{\rho_{t'} D_t}{\rho_t D_{t'}}, \quad (V.5)$$

где  $D_t, D_{t'}$  — поверхностное натяжение, Н/с;  $\rho_t, \rho_{t'}$  — динамическая вязкость воздуха, Па/с.

Для практических расчетов используют формулу [54]

$$\beta_t = \beta_{15} \frac{1 + 0,04t}{1,6}, \quad (V.6)$$

где  $\beta_{15}$  — коэффициент влагопроводности материала при  $t = 15^\circ \text{C}$ .

Коэффициент влагопроводности также определяют нестационарным методом по формуле [11]

$$\beta(w) = \frac{j_2^2 w \cdot 10^{-7}}{3,25 \gamma (V \overline{w_{\Pi}^3} - V \overline{w_0^3})^2}, \quad (V.7)$$

где  $w_0$  — начальное массовое влагосодержание материала, %;  $w_{\Pi}$  — влагосодержание слоя, соприкасающегося с поверхностью воды, %.

Методика определения коэффициента влагопроводности нестационарным методом следующая [11]. Образец строительного материала в форме куба увлажняют посредством контакта одной из его

плоскостей с поверхностью воды. Периодически взвешивая его, определяют количество влаги  $j_2$ , кг/м<sup>2</sup>, в нестационарном режиме увлажнения и стоят графики  $j_2(Vz)$  и  $w(z)$ . Для периода, когда выполняется условие полубесконечного образца (зависимость  $j_2(\sqrt{z})$  линейная) рассчитывают  $\beta(w)$  по формуле (V.7).

**Коэффициент потенциалопроводности**  $a_m$  экспериментально определяют по кривым скорости сушки, по изменению среднего влагосодержания тела, находящегося в контакте с эталонным [24, 48]. Метод стационарного потока влаги для определения коэффициента потенциалопроводности аналогичен методу определения коэффициента паропроницаемости по ГОСТ 12852.5—77. В эксперименте определяют удельный поток влаги  $j = j_1 + j_2$ . После достижения стационарного потока образец исследуемого материала разрезают и находят градиент влагосодержания  $dw/dx$ . Расчет осуществляют по формуле

$$j = -a_m \gamma_0 \frac{\partial w}{\partial x}. \quad (V.8)$$

**Термоградиентный коэффициент**  $K_t$  определяют методом стационарного потока, который основан на создании в исследуемом материале стационарного поля влагосодержания и поля температур. По длине опытного образца устанавливают несколько термопар и с помощью двух термостатов создают стационарное распределение температуры и влажности. Изменение влажности по длине образца определяют по окончании опыта путем его разрезания на несколько частей и высушивания их в сушильном шкафу.

$$K_t = (\Delta w / \Delta \tau)_{j=0}. \quad (V.9)$$

**Коэффициент влагопроводимости**  $\kappa$  определяют методом стационарного потока влаги по методике, аналогичной определению коэффициента потенциалопроводности. Расчетная формула

$$\kappa = - \frac{j}{\partial \theta / \partial x}. \quad (V.10)$$

Для определения коэффициента влагопроводимости исследуемого материала предварительно получают экспериментальную зависимость

$$\theta = f(w).$$

**Температуру** конструкций зданий и окружающей их среды измеряют на основании явления теплового обмена между телами с различной температурой и на изменении физических свойств веществ при их нагревании или охлаждении.

Температуру наружного и внутреннего воздуха измеряют термометрами стеклянными жидкостными по ГОСТ 112—78\*Е, ГОСТ 215—73\*Е, ГОСТ 2045—71\*, ГОСТ 9871—75\*Е, термометрами сопротивления по ГОСТ 6651—78\*, термоэлектрическими термометрами (термопарами) по ГОСТ 3044—77\*, ГОСТ 6616—79\*.

Температуру в толще ограждающих конструкций и строительных материалов измеряют термопарами или термометрами сопро-



тивления. Температуру поверхности ограждающих конструкций — контактным и радиационным методами.

Принцип действия стеклянных жидкостных термометров основан на тепловом расширении термометрической жидкости, заключенной в термометре. Для заполнения жидкостных термометров применяют ртуть, толуол, этиловый спирт, керосин, петролейный эфир. Допускаемая погрешность измерения термометров, которая нормируется в зависимости от их цены деления и температурного интервала шкалы, при проведении теплофизических исследований, не должна превышать  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Термоэлектрический метод измерения температуры основан на строгой зависимости термоэлектродвижущей силы (термо-эдс) термоэлектрического термометра (термопары) от температуры. Термоэлектродные материалы, предназначенные для изготовления термопар, должны обладать стабильностью и воспроизводимостью термоэлектрических характеристик. Для проведения теплофизических исследований строительных материалов и конструкций используют термопары хромель-копелевые типа ТХК, хромель-алюминиевые типа ТХА (из сплавов хромель Т, алюмель и копель по ГОСТ 492—73\*) и медьконстантовые типа ТМК.

Для изготовления положительного термоэлектрода ТХК используют хромель Т, представляющий собой жаропрочный немагнитный сплав на никелевой основе (89 % Ni+9,8 % Cr+10 % Fe+0,2 % Mn). Отрицательный термоэлектрод — копель — сплав из меди и никеля (56 % Cu+44 % Ni). ТХК развивают наибольшую термо-э. д. с. по сравнению с другими типами термопар (при  $t = -200^\circ\text{C}$  и  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $E(t, t_0) = 9,6$  мВ; при  $t = 100^\circ\text{C}$  и  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $E(t, t_0) = 6,88$  мВ).

Положительный термоэлектрод ТХА — хромелевая проволока, отрицательный — алюмель, представляющий собой магнитный сплав на никелевой основе (94 % Ni+2 % Al+2,5 % Mn+1 % Si+0,5 % примеси). ТХА обладают лучшей сопротивляемостью окислению, чем другие термопары из неблагородных металлов при работе в воздушной среде.

ТМК приборостроительной промышленностью не изготавливаются, но широко применяются в экспериментальных исследованиях, так как медь обладает большим постоянством термоэлектрических свойств. ТМК развивает термо-э. д. с. при  $t = 100^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $E(t, t_0) \approx 4$  мВ, а при  $t = -200^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $E(t, t_0) \approx 5,5$  мВ.

Для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими термометрами применяют милливольтметры или потенциометры по ГОСТ 7164—78\* [33]. Действие термометров сопротивления основано на свойстве вещества менять электрическое сопротивление с изменением температуры.

Наиболее широко применяют медные термометры сопротивления ТСМ. Технология получения проволоки из чистой меди в разной изоляции несложна. Зависимость электрического сопротивления меди от температуры описывают уравнением

$$R_t = R_0 (1 + \alpha_t t), \quad (\text{V.11})$$

где  $R_t$  — сопротивление чувствительности элемента данного термометра соответственно при температуре  $t$  и  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_t$  — температурный коэффициент электрического сопротивления, характерный для данного образца медной проволоки, из которого изготовлен термометр.

Для измерения температуры в комплекте с термометрами сопротивления применяют уравновешенные или неуравновешенные мосты, логометры [33].

Радиационные методы измерения температуры основаны на преобразовании потока инфракрасного излучения, являющегося функцией температуры, в другой вид энергии, удобной для измерения. Для этих целей используют тепловизоры, в которых изображение температурного поля на поверхности исследуемого объекта воспроизводится на экране электронно-лучевой трубки и фиксируется каким-либо носителем информации, например, фотобумагой. Поле обзора тепловизора может иметь поперечный размер до десятков угловых радиусов, мгновенное поле зрения — несколько миллирадиан, время воспроизведения кадра — от нескольких минут до сотых долей секунды [20].

Тепловизионная контрольно-измерительная система состоит из таких устройств: одно- или двухканального сканирующего, видеоконтрольного с черно-белым или цветным изображением и видеоманитного. С помощью сканирующего устройства воспринимается тепловое излучение от исследуемого объекта, перерабатывается и передается на видеоконтрольное устройство (монитор или видеоманитфон). Основная функция монитора — представление воспринятой сканирующим устройством невидимой инфракрасной энергии излучения на экране электронно-лучевой трубки в виде контрастного черно-белого или цветного изображения. Видеоманитное устройство применяют для записи данных термосъемки на видеоманитную ленту.

Для контроля теплового режима зданий и сооружений широко используют также [61] более простые и дешевые устройства — радиометры, обладающие приемлемой для практики точностью измерений. В состав переносных радиометров входят приемник лучистого потока, сканирующее устройство (переносная координатная сетка), позволяющее перемещать приемник в горизонтальном и вертикальном направлениях, и фиксирующее устройство, записывающее данные термосъемки на диаграммную ленту.

**Влажность** материалов ограждающих конструкций определяют прямыми или косвенными методами.

Наиболее широко распространен прямой метод — высушивание, который положен в основу определения влажности строительных материалов и конструкций по ГОСТ 17177.4—81, ГОСТ 12730.2—78, ГОСТ 12852.2—77.

Косвенные методы разделяют на электрические и неэлектрические. Последняя группа мало применима для исследований ограждающих конструкций, так как дает возможность определять только интегральную влажность и требует сложной аппаратуры.

Широко распространены в практике измерения влажности материалов строительных конструкций электрические методы — кондуктометрический и диэлькометрический.

Диэлькометрическими методами по ГОСТ 23422—79 определяют влажность путем измерения комплексной диэлькометрической проницаемости (и ее составляющих) строительного материала в широком диапазоне частот [38]. На показания диэлькометрических влагомеров оказывают влияние химический состав и температура материала, характер распределения в нем влаги [13].

Кондуктометрические влагомеры измеряют электрическую проводимость материала [34]. Под действием электрического поля во влажном строительном материале возникает ток сквозной проводимости, обусловленный наличием свободных электрических зарядов. Основные недостатки кондуктометрического метода — это зависимость показаний от химического состава материала, его структуры, температуры, ограниченный верхний и нижний пределы измерений, возможность возникновения эффекта поляризации электродов [13].

**Изотермы сорбции** строительных материалов получают эксикаторным методом по ГОСТ 24816—71, ГОСТ 17177.5—81, ГОСТ 12852.6—77. Недостаток этого метода — длительность эксперимента. Поэтому часто применяют ускоренные методы — вакуумный и динамический. Вакуумный более точен, но результаты его все же отличаются от реальных условий эксплуатации материалов в ограждающих конструкциях.

**Потенциал влажности** материалов  $\theta$  определяют на основании постулата о влажностном равновесии: два влажных тела, находясь во влажностном равновесии не только с третьим, но и друг с другом.

Измеряют в градусах влажности ( $^{\circ}\text{В}$ ). В качестве измерителя применяют равновесное влагосодержание эталонного материала — фильтровальной бумаги при эталонной температуре  $+20^{\circ}\text{С}$ .

Равновесную весовую влажность фильтровальной бумаги, соответствующую максимальной гигроскопической при эталонной температуре, принимают за  $100^{\circ}\text{В}$ , сухой бумаге соответствует  $0^{\circ}\text{В}$ . Изменение равновесной влажности на  $0,01$  величины ее максимальной гигроскопической влажности при эталонной температуре равно  $1^{\circ}\text{В}$ . Зависимости  $\omega(\theta, t)$  фильтровальной бумаги приведены в [14].

Для определения потенциала влажности исследуемого материала при фиксированных его влажности и температуре обеспечивают плотный контакт между материалом и фильтровальной бумагой. Полученную систему влагоизолируют и, после установления влажностного равновесия по эталонным зависимостям  $\omega(\theta, t)$  для фильтровальной бумаги, определяют потенциал влажности исследуемого материала.

Для определения зависимости  $\theta(\omega, t)$  материал помещают в неизотермическую разрезную колонку, где фиксируется изменение влажности и температуры по длине образца и с помощью эталон-

ного материала (фильтровальной бумаги) соответствующее изменение потенциала влажности.

**Фазовый состав влаги** в порах строительных материалов определяют кондуктометрическим методом в приведенной ниже последовательности [34]. В испытываемую строительную конструкцию помещают кондуктометрические датчики влажности (см. с. 154) и термопары или термометры сопротивления. Измеряют температуру и электрическое сопротивление. Определяют количество незамерзшей влаги по зависимости  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + e$  где  $y = \lg R_{\sim}$ ;  $x = t_1$ ;  $x_2 = \lg w$ ;  $x_3 = t \lg w$ ;  $e$  — систематическая погрешность, определяемая адекватностью принятой модели, точностью измерения контролируемых и неконтролируемых параметров состояния и составляющих компонентов [34].

Общее количество влаги в локальной зоне датчика определяют по уравнению  $w_2 = b_0 + b_1w + (b_2 + b_3w)/t$  при  $t \leq t_{н.з.}$ .

После определения общего влагосодержания находят количество твердой фазы (льда).

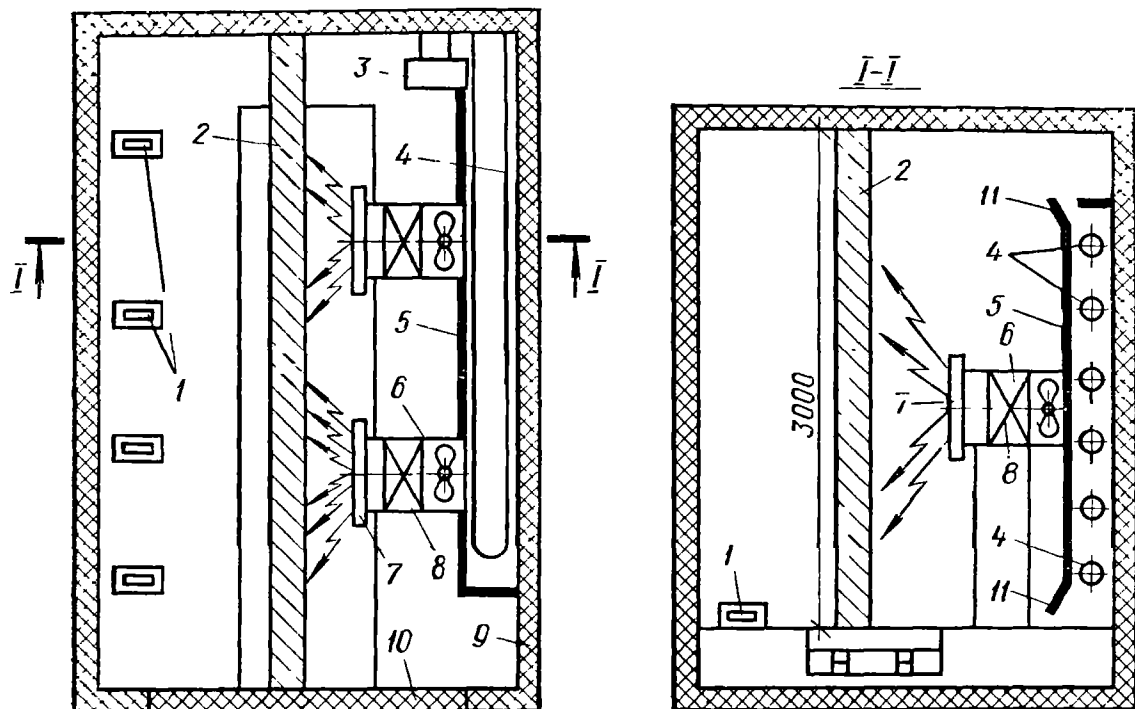
Градуировку кондуктометрических датчиков влажности проводят на образцах материала, из которого изготовляют конструкцию. Образцы увлажняют в эксикаторах от минимальной влажности до максимальной гигроскопической. Сверхгигроскопическое увлажнение осуществляют, капая на образец пипеткой дистиллированную воду в различных количествах и выдерживая образцы в эксикаторах до равномерного распределения влаги в их объемах. Образцы разной влажности с установленными в них кондуктометрическими датчиками помещают в термокамеру, где задают соответствующую температуру, начиная с положительной. На каждой ступени заданной температуры образцы выдерживают в течение времени, необходимого для наступления термодинамического равновесия, о чем судят по стабилизации измеряемого электросопротивления и температуры.

#### **МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

На стадии проектирования зданий теплотехнические показатели новых видов ограждающих конструкций определяют по ГОСТ 26254—84 в лабораторных условиях с помощью климатических камер, используя характерные объемные фрагменты зданий, а также плоские ограждающие конструкции в натуральную величину или их характерные элементы.

Климатическая камера для определения теплотехнических показателей плоских ограждающих конструкций состоит из теплоизолированного объема, разделенного испытываемой конструкцией на холодный и теплый отсеки (рис. V.1, а).

При испытаниях характерных объемных фрагментов или малогабаритных (например, мобильных) зданий используют климатиче-



а

Рис. V.1. Схема расстановки оборудования, обеспечивающего расчетные параметры воздуха в климатических камерах для испытаний плоских (а), объемных (б), конструкций и их фрагментов (в):

1 — экранированные нагревающие и увлажняющие устройства; 2 — испытываемая конструкция; 3 — воздухоохладитель с вентилятором; 4 — рассольные батареи; 5 — утепленный экран; 6 — вентиляторы; 7 — диффузоры; 8 — регуляторы температуры; 9 — теплоизоляция камеры; 10 — ворота с герметичными дверями; 11 — клапан регулировки распределения воздуха (верхний и нижний); 12 — емкость с раствором соли; 13 — приставной теплый отсек; 14 — переходная диафрагма.

ские камеры, в которых весь не занятый зданием объем представляет собой холодное отделение, а роль теплого отсека выполняет пространство внутри здания (рис. V.1, б).

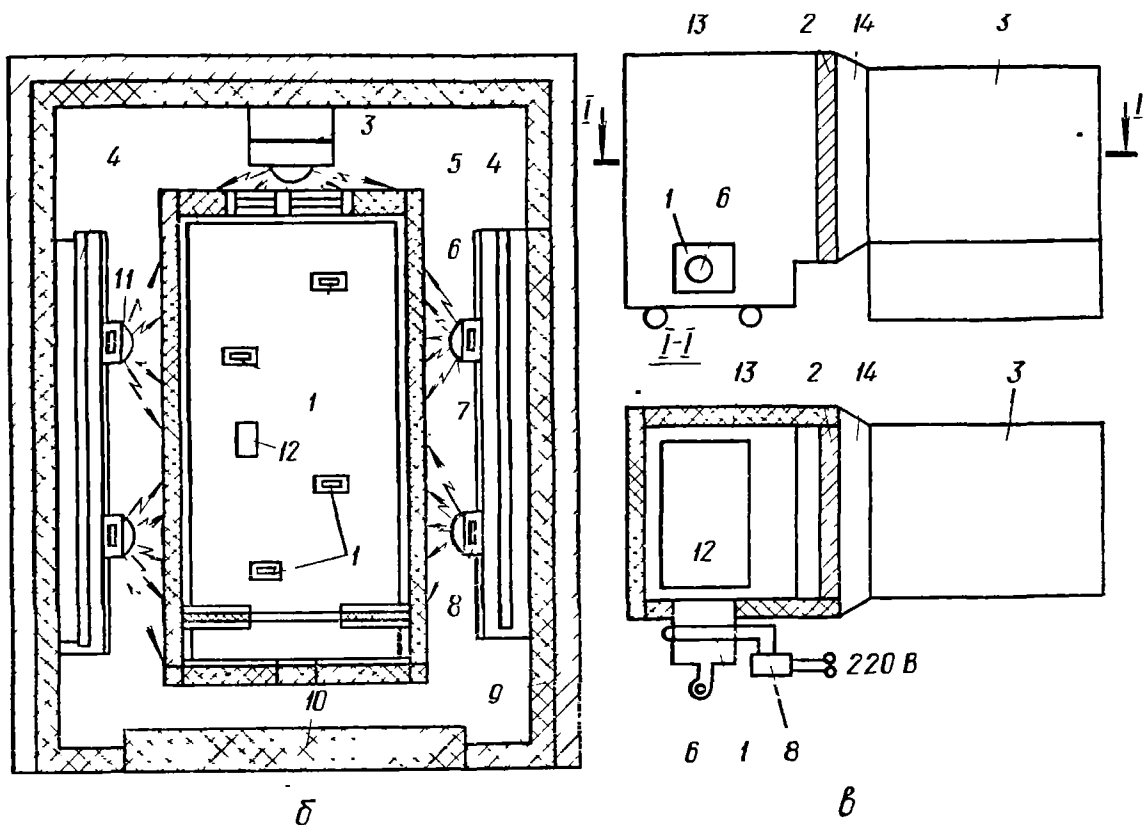
Для испытания характерных малогабаритных фрагментов и конструктивных элементов используют малогабаритные климатические камеры (рис. V.1, в), состоящие из стационарного холодного, в проем которого с помощью переходной диафрагмы монтируется испытываемый элемент, и приставного теплого отсеков, где задаются расчетные параметры воздуха помещений.

Расчетные зимние условия, имитируемые при испытаниях:

температура наружного воздуха — в зависимости от района строительства согласно СНиП 2.01.01-82 и показателя тепловой инерции ограждения, определяемого по СНиП II-3-79 \*;

средние коэффициенты теплообмена для наружных и внутренних поверхностей испытываемого ограждения согласно СНиП II-3-79 \*;

средние скорости движения воздуха у поверхностей испытываемого ограждения — исходя из соблюдения расчетных коэффициентов теплообмена по СНиП II-3-79 \*;



температура и влажность внутреннего воздуха — по нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений, для которых предназначена испытываемая конструкция (см. табл. I.1...I.9).

Расчетную скорость у наружной поверхности ограждения определяют исходя из обеспечения расчетного коэффициента теплообмена, нормируемого СНиП II-3-79\*. Для этого определяют коэффициент конвективного теплообмена по соотношению

$$\alpha_k = \alpha_n - \alpha_l, \quad (V.12)$$

где  $\alpha_l$  — коэффициент лучистого теплообмена, определяемый по зависимости [54]

$$\alpha_l = c_n \left[ \left( \frac{\tau_n}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_n}{100} \right)^4 \right] / (\tau_n - t_n), \quad (V.13)$$

где  $\tau_n$ ,  $t_n$  — температура соответственно наружной поверхности конструкций и наружного воздуха, °К.

По  $\alpha_k$  рассчитывают скорость движения воздуха  $v$ . СНиП II-3-79\*

$$v = \left( \frac{\alpha_k - 5}{10} \right)^2. \quad (V.14)$$

Указанное значение скорости движения воздуха должно обеспечиваться не менее чем на 0,8 площади испытываемого ограждения. В процессе испытания измеряют следующие параметры: температуру внутренних и наружных поверхностей и воздуха, тепловые потоки через ограждения, влагосодержание материалов ограждающих конструкций.

При отсутствии исчерпывающих данных о конструктивном решении испытываемого ограждения или фрагмента, а также для выявления возможных дефектов перед установкой датчиков на смонтированное в камере ограждение (фрагмент), создают разность температуры на его поверхностях и проводят термографирование внутренней поверхности для выявления и оценки термической неоднородности испытываемой конструкции. Для этих целей применяют радиационные методы измерения температуры [25].

При отсутствии приборов тепловизионного или радиационного контроля для установления неравномерности температурного поля конструкций пользуются термощупом. После выявления количества и размеров термически однородных зон расставляют датчики на поверхностях конструкции. На каждую характерную термически однородную зону устанавливают такое количество термодатчиков, которое при принятой обеспеченности результатов дает достоверность осредненного значения измеряемого параметра. При обеспеченности результатов 0,95 и соблюдении условия сопоставимости случайной и систематической погрешностей, при определении средних значений температуры на внутреннюю и наружную поверхности характерных термически однородных зон устанавливают 12...14 термопар. На всю поверхность ограждения — не менее 40 термопар [26].

При измерении температуры поверхности ограждающей конструкции контактным методом погрешность при правильном выборе измерительной схемы [33] в основном определяется теплооттоком (притоком) по электродам датчика. Она зависит от геометрических размеров и конфигурации термоэлектродов и исследуемого тела, коэффициентов теплопроводности электродов, условий теплообмена датчика со средой. Крепление электродов на изотермической поверхности на длину, равную 50 их радиусов и больше, обеспечивает относительную погрешность измерений, обусловленную теплопроводностью термоэлектродов, не превышающую 1 % истинного значения температуры.

Плотность тепловых потоков измеряют с помощью малогабаритных датчиков, соответствующих ГОСТ 25380—82. На поверхность каждой характерной термически однородной зоны устанавливают не менее 2 малогабаритных датчиков теплового потока. Для измерения температуры внутреннего и наружного воздуха термопары устанавливают на расстоянии 0,1 м от поверхности равномерно по площади испытываемого ограждения.

Относительную влажность воздуха в отсеках измеряют непрерывно с помощью гигрографов или дистанционных измерителей влажности, устанавливаемых в центрах отсеков.

В основу работы дистанционной системы измерения влажности и температуры воздуха положены мостовые схемы (рис. V.2). Плечом температурного моста является медный термометр сопротивления соответствующего датчика. Измерение относительной влажности воздуха основано на принципе электрического волосяного гигрометра с дистанционной передачей его показаний посредством

проволочного реостата, являющегося рабочим плечом моста влажности.

Влажность материалов ограждающих конструкций и характер распределения влаги в их толще определяют методом проб (весовым) или установкой диэлькометрических [38] или кондуктометрических [34] датчиков по сечению конструкции.

Соответствие имитируемых расчетных режимов в отсеках климатической камеры требованиям нормативных документов опреде-

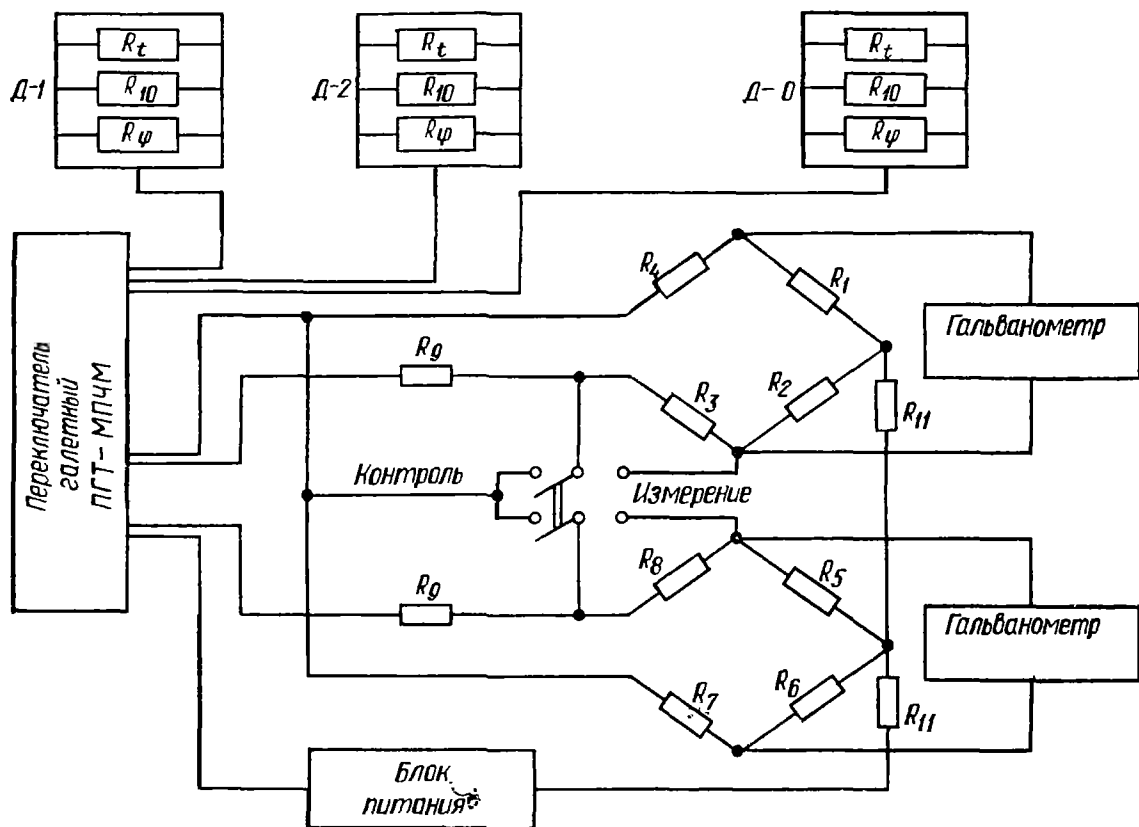


Рис. V.2. Принципиальная схема системы дистанционного измерения влажности и температуры воздуха:

Д-1 ... Д-10 — датчики влажности и температуры;  $R_t$  — термометры сопротивления;  $R_\phi$  — волосяная гитара с проволочным реостатом;  $R_1...R_{11}$  — постоянные сопротивления.

ляют с помощью специальной инвентарной стенки, устанавливаемой на место испытываемой конструкции. Инвентарной стенкой служит термически однородная плоская конструкция на проем климатической камеры с термическим сопротивлением теплопередаче около  $1 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ .

Для определения теплотехнических показателей в камере создают стационарный режим теплопередачи через испытываемый фрагмент. Продолжительность испытания при одном режиме определяют по формуле

$$z = z_{н.к} + z_{с.п} + z_{изм}, \quad (V.15)$$

где  $z_{н.к}$  — время установления в отсеках климатической камеры расчетных параметров воздуха (определяется видом, мощностью обо-



рудования, имитирующего температурно-влажностные условия в теплом и холодном отсеках);  $z_{с.п}$  — время установления стационарного теплового потока, проходящего через испытываемое ограждение, зависит от тепловой инерции ограждающей конструкции. Ориентировочно принимают:

|                             |              |                |               |                    |
|-----------------------------|--------------|----------------|---------------|--------------------|
| $D...$<br>$Z^*_{с.п}, ч...$ | До 1,5<br>20 | >1,5...4<br>50 | >4...7<br>100 | >7<br>Не менее 200 |
|-----------------------------|--------------|----------------|---------------|--------------------|

$z_{изм}$  — время проведения необходимого количества измерений.  
 $z_{изм}$  в формуле (V.15) определяют количеством приборов, измеряющих необходимые для определения сопротивления теплопередаче параметры, и количеством измерений каждого параметра при установившемся стационарном потоке, при подключении измерительной аппаратуры к системе автоматического сбора и обработки экспериментальных данных [1] или при дискретном проведении измерений  $z_{изм} \approx 5...7$  ч.

Обработке подлежат значения параметров, соответствующие установившемуся стационарному режиму теплопередачи через испытываемое ограждение.

Грубые погрешности определяют проверкой результатов по критерию В. И. Романовского  $d_k$  (табл. V.1), основанному на распре-

Т а б л и ц а V.1. Критерий В. И. Романовского  $d_k$  для различного числа измерений  $n$  и вероятности  $p_k$  [33]

| $n$ | Значения $d_k$ при $p_k$ , равном |       |       |       | $n$      | Значение $d_k$ при $p_k$ , равном |      |      |       |
|-----|-----------------------------------|-------|-------|-------|----------|-----------------------------------|------|------|-------|
|     | 0,05                              | 0,02  | 0,01  | 0,005 |          | 0,05                              | 0,02 | 0,01 | 0,005 |
| 2   | 15,56                             | 38,97 | 77,96 | 779,7 | 10       | 2,37                              | 2,96 | 3,41 | 5,01  |
| 3   | 4,97                              | 8,04  | 11,46 | 36,5  | 12       | 2,29                              | 2,83 | 3,23 | 4,62  |
| 4   | 3,56                              | 5,08  | 6,53  | 11,46 | 14       | 2,24                              | 2,74 | 3,12 | 4,37  |
| 5   | 3,04                              | 4,1   | 5,04  | 0,43  | 16       | 2,20                              | 2,68 | 3,04 | 4,2   |
| 6   | 2,78                              | 3,64  | 4,36  | 7,41  | 18       | 2,17                              | 2,64 | 3    | 4,07  |
| 7   | 2,62                              | 3,36  | 2,96  | 6,37  | 20       | 2,145                             | 2,60 | 2,93 | 3,98  |
| 8   | 2,51                              | 3,18  | 3,71  | 5,73  | $\infty$ | 1,97                              | 2,33 | 2,58 | 3,29  |

делении Стьюдента. Для этого определяют для ряда наблюдений от  $x_1$  до  $x_n$  среднее арифметическое значение  $\bar{x}_n$  и оценивают среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ . Затем, исходя из принятой обеспеченности результатов  $p$ , задаются такой вероятностью  $p_k=1-p$ , при которой разность  $|x_{n+1}-\bar{x}_n|$  не должна превышать некоторое допускаемое значение  $\epsilon_k$ , определяемое по формуле [33]

$$\epsilon_k = d_k \sigma. \tag{V.16}$$

Если  $\epsilon_k < |x_{n+1}-\bar{x}_n|$ , то наблюдение  $x_{n+1}$  подлежит исключению из ряда как не заслуживающее доверия.

\* Данные получены на основании анализа результатов теплотехнических испытаний ограждающих конструкций проведенных авторами, а также теоретических расчетов формирования стационарного температурного поля в неограниченных пластинах с разной теплопроводностью их материалов при граничных условиях III рода по методике [26, 49].

Для термически неоднородных ограждающих конструкций рассчитывают приведенную температуру внутренней поверхности по формуле

$$\tau_{в}^{np} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n \tau_{вji} f_j, \quad (V.17)$$

где  $\tau_{вji}$  — средняя температура в  $i$ -й точке  $j$ -й термически однородной зоны;  $f_j$  — доля площади  $j$ -й термической однородной зоны от общей площади внутренней поверхности ограждающей конструкции;  $N$  — количество термически однородных зон;  $n$  — количество термодпар, расставленных на внутренней поверхности однородной зоны (12...14).

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяют по формуле

$$R_0^{np} = \frac{t_{в} - t_{н}}{(t_{в} - \tau_{в}^{np}) \bar{\alpha}_{в}}. \quad (V.18)$$

При проведении испытаний объемных фрагментов или элементов зданий, а также малогабаритных зданий (целиком) в климатических камерах можно учесть характерные особенности теплообмена, которые наблюдают в процессе эксплуатации (реальные геометрические размеры ограждений со всеми элементами их каркаса и узлов сопряжений, фильтрации воздуха через стыки, особенностей лучистого теплообмена внутри помещения, движения внутреннего и наружного воздуха вблизи поверхностей ограждений).

При обработке результатов подобных испытаний необходимо оценивать коэффициент теплообмена  $\alpha_{в}$ , значение которого может отличаться от принятого в СНиП II-3-79\*. Эту характеристику находят по формуле

$$\alpha_{в} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n q_{ji} f_j}{t_{в} - \tau_{в}^{np}}, \quad (V.19)$$

где  $q_{ji}$  — тепловой поток через  $i$ -ю область  $j$ -й термически однородной зоны.

**Метод определения сопротивления воздухопроницанию** заключается в том, что через образец конструкции или ее характерный фрагмент, расположенный в рабочем положении, пропускают поток воздуха и после установления стационарного режима измеряют расход фильтрующегося через образец воздуха и разность давлений на его противоположных поверхностях. Порядок отбора образцов, подготовка их к испытаниям и проведению испытаний — по ГОСТ 25891—83. Схема установки для проведения испытаний воздухопроницаемости в лабораторных условиях приведена в ГОСТ 25891—83. По результатам испытаний составляют мотивированное заключение о возможности строительства здания с новым конструктивным решением в данном районе, указывают строительно-климатические зоны и подзоны, в которых возможна эксплуатация, а при

необходимости разрабатывают предложения по повышению теплозащитных качеств ограждающих конструкций, которые проверяют экспериментальным или расчетным путем по описанным выше методикам.

### **МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗАВОДСКИХ И ПОСТРОЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПРИЕМКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ**

В заводских условиях теплотехнические качества ограждающих конструкций определяют с целью выявления и оперативного устранения дефектов теплоизоляции ограждений и их стыков.

Контролируют теплотехнические качества ограждающих конструкций зданий в заводских условиях специализированные лаборатории или специально подготовленные квалифицированные работники ОТК. Оперативный контроль теплозащитных качеств ограждающих конструкций в заводских условиях возможен при использовании тепловизионной или радиационной техники.

Теплозащитные качества ограждающих конструкций малогабаритных зданий (например, мобильных (инвентарных) передвижных и контейнерных) проверяют одновременно с системами их отопления и вентиляции. Нагрузку указанным системам задают с таким расчетом, чтобы обеспечить разность между температурой внутреннего и наружного воздуха не менее  $10^{\circ}\text{C}$ . Время работы систем отопления и вентиляции определяется тепловой инерцией ограждений испытываемого здания (см. с. 140).

После установления фиксированной разности температуры определяют температурное поле ограждений здания с помощью тепловизора или радиометра.

Для уменьшения погрешности измерений необходимо принять меры по исключению влияния на показания прибора отраженного теплового потока от сторонних источников (нагревательных приборов, солнечного излучения).

При использовании тепловизора расстояние между поверхностью испытываемого ограждения со сканирующим устройством выбирают так, чтобы весь экран монитора был заполнен изображением температурного поля всей поверхности ограждения. При использовании радиометра его сканирование вдоль поверхности ограждающих конструкций здания осуществляют с помощью переносной координатной сетки или вручную.

Этим способом определяют также показатель качества теплозащиты ограждающих конструкций зданий — разность между температурой внутреннего воздуха помещений и приведенной температурой их внутренней поверхности. Допустимую разность в температурных условиях проведения испытаний  $t_{\text{в}}^{\text{н}}$  и  $t_{\text{н}}^{\text{н}}$  рассчитывают по формуле

$$\Delta t = \Delta t^{\text{н}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}}^{\text{н}} - t_{\text{н}}^{\text{н}}}, \quad (\text{V.20})$$

где  $\Delta t^n$  — допустимый СНиП II-3-79 \* перепад между расчетной температурой  $t_v$  внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения при расчетной температуре наружного воздуха  $t_n$  (см. табл. I.10).

Для осуществления контроля и проверки теплотехнических качеств крупноразмерных ограждающих конструкций зданий в лаборатории завода-изготовителя оборудуют специальные термические камеры, размер которых отвечает модульным размерам ограждений, выпускаемых заводом.

Панели ограждающих конструкций устанавливают в проеме термической камеры, один из отсеков которой снабжен холодильными агрегатами или нагревающими устройствами, обеспечивающими перепад температуры воздуха в отсеках, разделенных проверяемой панелью, не менее 10...15 °С. В зависимости от тепловой инерции ограждений и мощности холодильных агрегатов (нагревателей), через период времени  $z$  проводят съемку температурного поля с помощью тепловизора или радиометра. Поверке подлежат три панели в каждой партии. При превышении среднего значения  $\Delta t'$  допустимого  $\Delta t$ , определенного по формуле (V.20), партию бракуют и она подлежит демонтажу.

На строительной площадке качество теплозащиты здания контролируют прорабы специализированных участков при помощи малогабаритных переносных радиометров [61] поэтапно при полностью смонтированных ограждающих конструкциях, включая межэтажные перекрытия. В помещении устанавливают переносные электрические нагреватели и обеспечивают разность температур внутреннего и наружного воздуха 10 °С и больше. Температуру воздуха фиксируют стеклянными жидкостными термометрами с ценой деления не более 0,1 °С. По измеренным показателям температуры  $t_v^n$  и  $t_n^n$  определяют допустимую разность  $\Delta t$  по формуле (V.20).

По паспортным данным радиометра определяют  $\Delta U$ , соответствующее допустимому  $\Delta t$ . Путем ручного сканирования (горизонтального и вертикального) радиометра вдоль поверхности ограждающих конструкций визуально фиксируют их температурное поле. Особое внимание следует уделять стыковым соединениям ограждений. Участки, на которых  $\Delta t'$  превышает допустимое  $\Delta t$ , подлежат вскрытию и оперативному устранению дефектов утепления панелей или уплотнения стыков.

При приемке зданий качество их теплозащиты проверяет представитель специализированной лаборатории, являющийся членом государственной приемочной комиссии. Контролируют теплозащиту одновременно с проверкой работы системы отопления (кондиционирования) и вентиляции здания. Температурное поле поверхности ограждающих конструкций определяют с помощью радиометра или тепловизора. Контролю подлежат все наружные ограждающие конструкции со стыковыми соединениями. При обнаружении участков ограждений и их стыков, не отвечающих нормируемым данным, установленным по приведенным выше методикам, здание не может быть принято в эксплуатацию.

**В натуральных условиях эксплуатации определяют теплотехнические качества ограждающих конструкций и микроклимат зданий с учетом всех особенностей их теплового режима. Натурные обследования проводят специализированные исследовательские лаборатории в эксплуатируемых или полностью подготовленных к эксплуатации зданиях. Для проведения измерений выбирают периоды со стабильной во времени температурой наружного воздуха (преимущественно в ночные часы).**

Температурные поля ограждающих конструкций снимают с использованием тепловизоров или переносных радиометров. Обследование проводят в период с ноября по март включительно при среднесуточной температуре не выше  $0^{\circ}\text{C}$  в угловых квартирах, расположенных на разных этажах здания по одной вертикали (всего около 30 % квартир в доме).

При снятии температурного поля ограждающих конструкций с помощью радиометра осуществляют ручное его сканирование вдоль поверхностей ограждающих конструкций исследуемого здания. При этом на поверхность наносят координатную сетку со стороной ячейки не более 50 см. Таковую же сетку наносят на эскиз ограждения. Ячейки нумеруют по часовой стрелке сверху вниз. Для устранения влияния фонового излучения применяют контрастный метод измерения. При этом с помощью радиометра и координатной сетки определяют точки поверхности с близкой температурой. Их переносят на эскиз ограждения и соединяют изотермами, что позволяет определить наличие дефектов теплоизоляции ограждающих конструкций. С помощью термощупа определяют температуру в опорной точке и по паспортным данным прибора устанавливают значение изотерм в градусах.

По температурному полю, нанесенному на эскиз ограждения, определяют характерные термически однородные зоны, их площади и среднюю температуру. Приведенную температуру поверхности рассчитывают по формуле (V.17). Определяют разность между расчетной температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности при измеренных  $t_{\text{в}}^{\text{н}}$  и  $t_{\text{н}}^{\text{н}}$  по формуле (V.20). Рассчитывают приведенное сопротивление теплопередаче по формуле (V.18).

При отсутствии приборов радиационного контроля на внутреннюю и наружную поверхности ограждений устанавливают термодатчики по методике, описанной выше.

При обработке результатов натуральных испытаний строят графики изменения во времени температуры и плотности тепловых потоков в характерных точках, по которым выбирают 2...3 периода с наиболее установившимся режимом и отклонением температуры наружного воздуха от средних значений за этот период в пределах  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Вычисляют усредненные значения ее для каждого периода. Общая продолжительность этих периодов должна быть не меньше приведенной на с. 140 в зависимости от тепловой инерции ограждающих конструкций испытываемого здания.

Для установления соответствия опытных показателей темпера-

туры нормативным, полученные при натурных испытаниях значения пересчитывают на расчетные для наружного и внутреннего воздуха по формуле

$$\tau_B^p = t_B - (t_B - \tau_B') \frac{\alpha_B}{\alpha_B^3}, \tag{V.21}$$

где  $t_B$  — расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по ГОСТ 12.1.005—76 и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений (см. табл. 1.3...1.9);  $\tau_B'$  — температура внутренней поверхности ограждения при  $t_B$  и  $t_H$  без учета изменения коэффициента теплоотдачи  $\alpha_B$ , определяемая по формуле

$$\tau_B' = t_B - (t_B^H - \tau_B^H) \frac{t_B - t_H}{t_B^H - t_H^H}; \tag{V.22}$$

$t_H$  — расчетная температура наружного воздуха;  $\alpha_B$  — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, рассчитываемый по зависимости  $\alpha_B = \alpha_K + \alpha_L$ ;  $\alpha_B' = \alpha_K' + \alpha_L'$  при  $t_B$  и  $\tau_B'$ ;  $\alpha_K, \alpha_K'$  — коэффициенты конвективного теплообмена у внутренней поверхности ограждения, определяемые температурными перепадами  $\Delta t = t_B^H - \tau_B^H$  и  $\Delta t = t_B - \tau_B'$  соответственно;  $\alpha_L, \alpha_L'$  — коэффициенты лучистого теплообмена у внутренней поверхности ограждения соответственно при  $t_{cp} = 0,5 (t_B^H + \tau_B^H)$  и  $t_{cp} = 0,5 (t_B + \tau_B')$ , определяемые по рис. V.3;  $t_B^H, \tau_B^H$  — средние за характерный период наблюде-

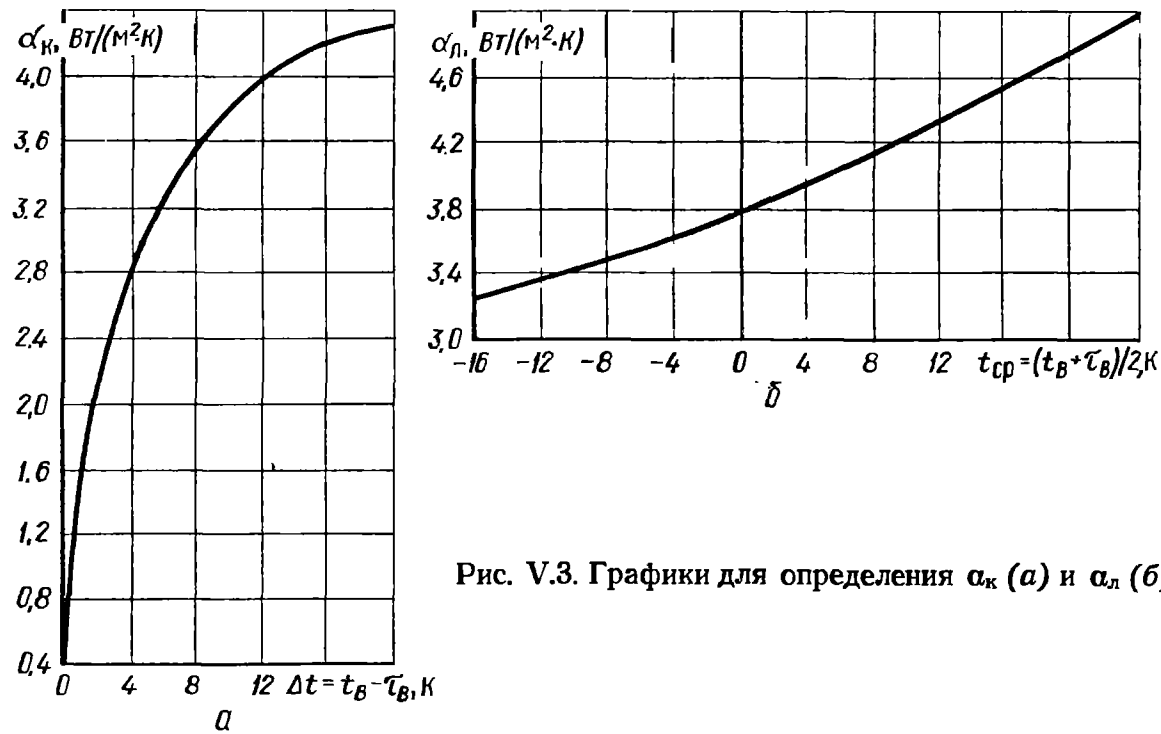


Рис. V.3. Графики для определения  $\alpha_K$  (а) и  $\alpha_L$  (б).

ний значения температуры внутреннего воздуха, внутренней поверхности ограждения в рассматриваемой точке и наружного воздуха соответственно.

Скорость и направление ветра измеряют на расстоянии от 1,5 до 2 высот малоэтажных зданий или одной высоты зданий в 9 и

более этажей. Влажность воздуха в исследуемом помещении измеряют гигрографом в центре комнаты на высоте 150 см от пола. Температуру в помещении (по центральной его вертикали) измеряют термодатчиками, установленными на высоте 10, 25, 75, 150 см от пола и на расстоянии 50, 25 и 10 см от потолка. Влажность материалов ограждающих конструкций определяют по методике, приведенной на с. 153—155. Результаты заносят в ведомость натурно-инструментального обследования [25, 26].

В процессе испытания теплоустойчивости ограждений определяют затухание колебаний условной (с учетом инсоляции) температуры наружного воздуха в ограждающей конструкции и сравнивают ее с значением, определяемым при расчетной амплитуде наружного воздуха по СНиП II-3-79 \* и нормируемой амплитуде колебания температуры внутренней поверхности данной конструкции (см. гл. IV).

Воздухопроницаемость ограждающих конструкций и их стыков в условиях эксплуатации определяют с помощью специальной установки по ГОСТ 25891—83. При определении сквозной и продольной воздухопроницаемости испытания проводят при помощи двух смонтированных с обеих сторон ограждения установок. В одной из них создают повышенное давление, в другой — разрежение. Определяют общую воздухопроницаемость. Затем в обеих установках создают разрежение равного значения и вычисляют предельную воздухопроницаемость. Сквозная воздухопроницаемость определяется как разность между общей и продольной. Воздухопроницаемость отдельных элементов ограждения (окон, дверей) рассчитывают при их изоляции путем повторного испытания.

Водонепроницаемость стыков ограждающих конструкций зданий и сооружений определяют методом непосредственного дождевания, которое выполняют посредством перфорированной трубки, изготовленной из дюралюминия или нержавеющей стали диаметром до 20 мм. Трубку подвешивают поперек вертикального стыка верхнего этажа на расстоянии 300 мм от стены или над окном и подключают к системе водопитания. Дождевание проводят при естественном ветровом напоре в течение 1...3 ч. Скорость ветра измеряют анемометром в каждом отдельном случае.

Стык считается герметичным, если за время проведения испытаний и в течение 6 ч после их завершения не отмечено сквозных протеканий или отсыревания поверхностей стен помещений в местах испытываемых стыков, а также во всех расположенных под ними помещениях.

#### **МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОВ ЗДАНИЙ**

Показатель теплоусвоения одно- и многослойных полимерных рулонных и плиточных материалов, предназначенных для устройства полов в зданиях, в лабораторных и натуральных эксплуатационных условиях определяют по ГОСТ 25609—83. Сущность метода за-

ключается в определении плотности потока тепла, проходящего через образец в течение заданного времени при постоянной разности температуры нагревателя и поверхности пола. Испытания проводят на образцах материала, имеющих форму пластины размером  $1 \times 1$  м, толщина которой равна натурной. При испытаниях плиточных материалов используют фрагмент покрытия или пола размером  $1 \times 1$  м.

Прибор для испытания состоит из термостатированного сосуда из органического стекла диаметром 200 мм с дном из полиэтиленовой или полиамидной пленки толщиной 0,1 мм, дифференциальной термопары, измерителя теплового потока (ГОСТ 25380—82), милливольтметра (ГОСТ 8711—78 \*), потенциометра (ГОСТ 9245—79 \*), лабораторного термометра (ГОСТ 215—73 \*) и секундомера (ГОСТ 5072—79 Е). Образец материала помещают на бетонную плиту размером  $1 \times 1 \times 0,05$  м. В центре образца устанавливают тепломер, а на расстоянии 40 см от него — дифференциальную термопару. Разность значений температуры в калориметре и поверхности образца задают  $+15^\circ\text{C}$ . После стабилизации теплового режима снимают показания милливольтметра через 3, 15, 30, 60 с, а затем 1 мин в течение последующих 11 мин. Показатель теплоусвоения вычисляют по формуле

$$Y = K \left( \frac{M_1 + M_2}{10} + \frac{M_2 + 3M_3 + 2M_4}{8} + \frac{M_4 + M_{15}}{2} + \sum_{i=5}^{i=14} M_i \right),$$

где  $K$  — градуировочный коэффициент прибора, Вт/(м<sup>2</sup>·К·мВ), определяемый по результатам измерений на стандартном образце;  $M_i$  — показания милливольтметра  $i$ -го замера.

Прибор для определения показателей теплоусвоения пола, разработанный в НИИ Мосстроя [62], измеряет количество тепла, проходящего через испытываемый образец в течение 0,2 ч. Температура в месте контакта его рабочей поверхности с поверхностью пола поддерживается постоянной на уровне  $+32^\circ\text{C}$  с помощью электрического реле. Измеритель мощности нагревателя состоит из механического счетчика, редуктора и синхронного двигателя. Нагреватель и двигатель включены в электрическую схему так, что они отключаются в одно и то же время при достижении первым заданной температуры.

Показатель тепловой активности пола рассчитывают по формуле

$$Y = qK / \Delta\tau z = qK / (\tau_{\text{нагр}} - \tau_{\text{п}}) z.$$

Коэффициенты теплоусвоения однослойных материалов, кроме описанного, можно определять методом источника постоянной мощности. В его основу положено решение одномерной задачи нагревания постоянным тепловым потоком [24] двухсоставной системы тел: материала в форме пластины толщиной  $\delta$  и теплофизическими свойствами  $\lambda_1$ ,  $a_1$ ,  $s_1$  и полуограниченного стержня теплофизическими свойствами  $\lambda_2$ ,  $a_2$ ,  $s_2$ .



Для проведения испытаний используют две пластины из исследуемого материала размером не менее  $35 \times 35$  мм и два стержня длиной 30...50 мм из плексиглаза, резины или другого стандартного материала. Между пластинами помещают плоский нагреватель, совмещенный с термопарой. Пластины приводят в контакт со стержнями. В месте контактов располагают термопару. Холодные спаи термопар помещают в наиболее удаленной от нагревателя точке стержня. Эту сборку зажимают в струбине для обеспечения хорошего теплового контакта. Термопары подключают к самопишущему потенциометру и при включении нагревателя записывают его температуру  $\tau_n(0, z) - \tau_{cp} = f_1(\sqrt{z})$  и в точке  $l$ ,  $\tau(l, z) - \tau_{cp} = f_2(\sqrt{z})$ . После установления квазистационарного режима температурные кривые становятся прямолинейными и параллельными друг другу.

Коэффициент теплоусвоения исследуемого материала толщиной менее 3,5 мм рассчитывают по формуле

$$S = \frac{2q}{\sqrt{\pi}} \operatorname{tg} \varphi \sqrt{(\tau_0 - \tau_{cp}) / (\tau_0 - \tau_l)},$$

где  $\varphi$  — угол наклона прямой  $\tau_n(0, z) - \tau_{cp} = f_1(\sqrt{z})$  к оси.

Коэффициент теплоусвоения материала при толщине образца более 3,5 мм  $S = 2q \sqrt{z} / (\tau_0 - \tau_{cp}) \sqrt{\pi}$ .

Коэффициенты теплоусвоения материалов можно вычислять по (1.9), (1.10) по результатам экспериментального определения  $\lambda$ ,  $C$ ,  $\gamma$  описанными выше нестационарными методами.

### ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ КАЧЕСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

**Пример.** Определить теплозащитные качества ограждающих конструкций мобильного (инвентарного) здания контейнерного типа и разработать рекомендации по повышению их теплозащиты.

Теплотехнические показатели ограждающих конструкций определялись на фрагменте мобильного здания размером  $5,3 \times 2,980 \times 2,93$  (рис. V.4), представляющем собой одну комнату с коридором. Наружные ограждающие конструкции здания представляют собой трехслойные облегченные панели, наружные обшивки которых выполнены из металлических гофрированных листов, а внутренние — из древесных. Утеплитель — плиточный фенольный пенопласт резопен плотностью 55 ... 65 кг/м<sup>3</sup>. Толщина стеновых панелей 99 мм, покрытия — 109, перекрытия — 216. В качестве ребер жесткости панелей использованы Z-образные металлические профили с теплоизолирующими деревянными брусками сечением  $50 \times 40$  мм. Пол — из досок, опирающихся на деревянные бруски сечением  $80 \times 50$  мм. Поверх досок — однослойный линолеум. Стыки между ограждающими конструкциями заполнены базальтовой ватой. Наружные обшивки в местах стыков сварены по контуру.

Исследовали здание в климатической камере для испытания объемных конструкций (см. рис. V.1, б) по методике, приведенной в настоящей главе. Температурные поля ограждающих конструкций определяли радиационным методом с использованием переносного радиометра ПТК-3 [61] и контактным — с помощью термопар и автоматизированной системы измерения температуры [1]. Результаты испытания представляем в табл. V.2.

Установлено, что не все теплотехнические показатели исследованного контейнерного здания отвечают требуемым. Термограммы внутренней поверхности (рис. V.5) свидетельствуют, что при расчетных параметрах внутреннего воздуха на внутренней поверхности ограждений возможно выпадение конденсата, что недопустимо. Наличие таких зон обусловлено тем, что трудно качественно уплотнить стыковочные соединения базальтовым волокном в условиях поточного изготовления зданий. Уменьшить вероятность возникновения зон с недопустимо низкой температурой внутренней поверхности, наличие которых снижает интегральные

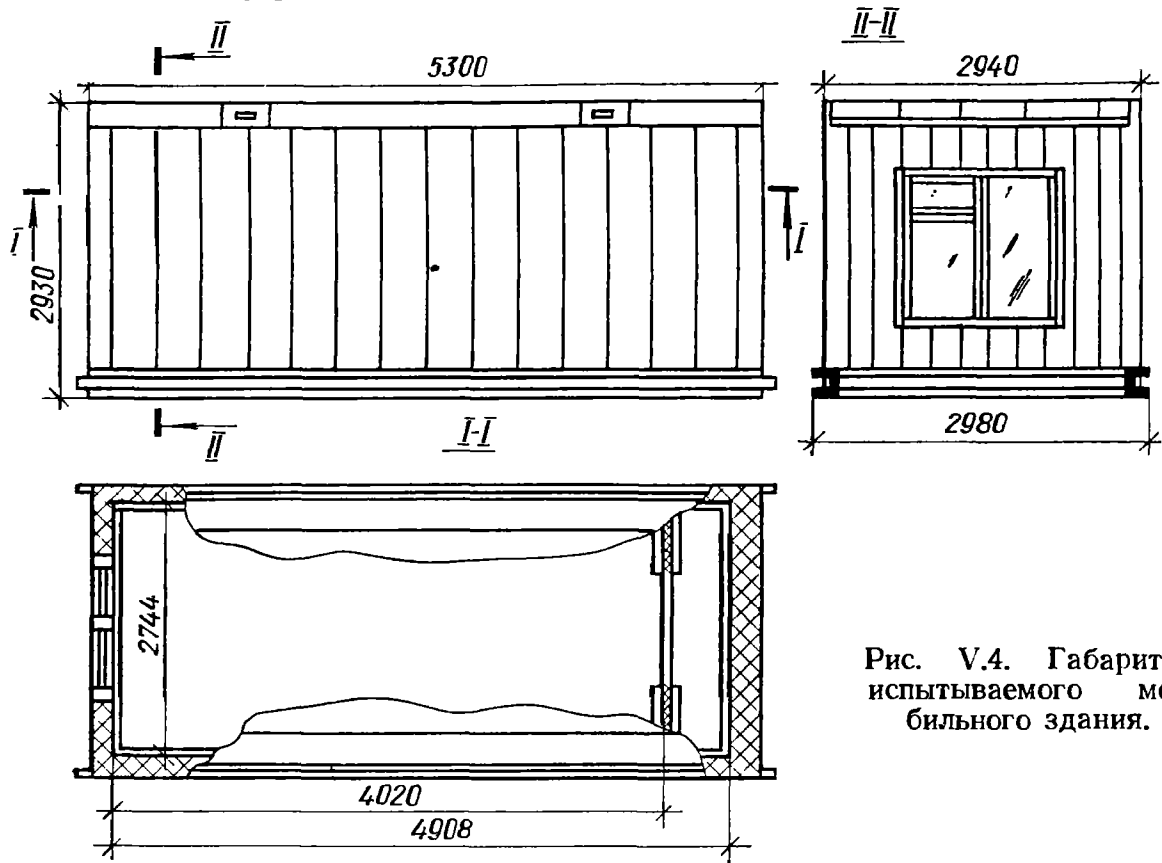
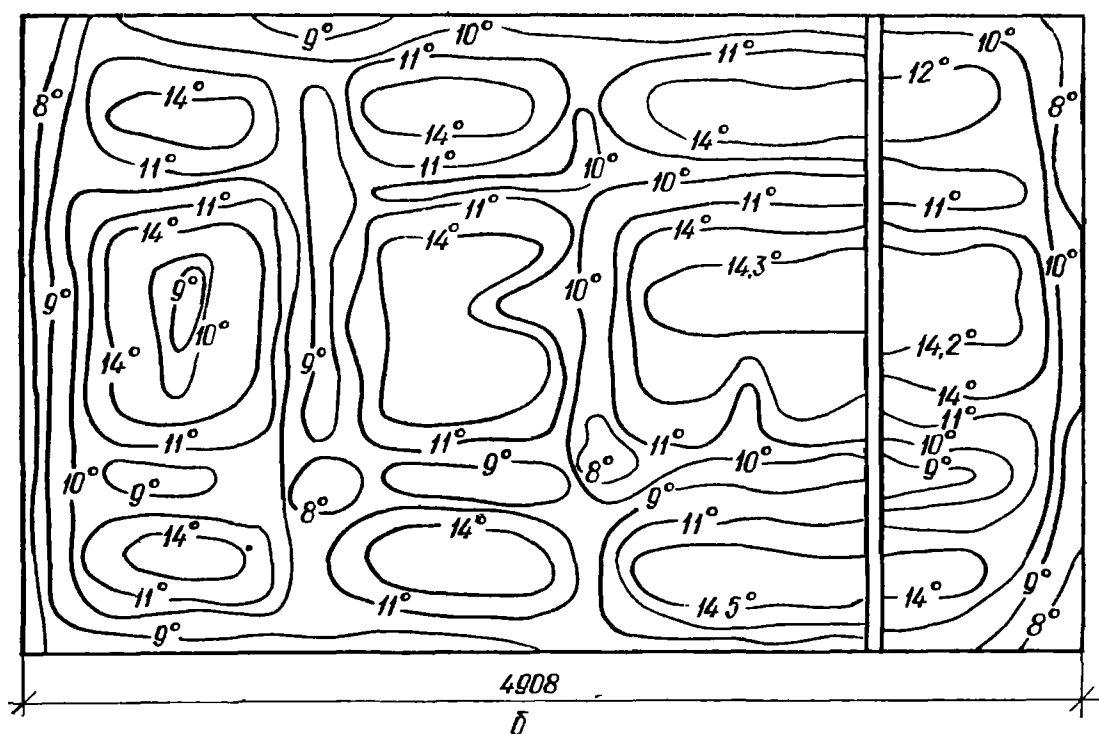
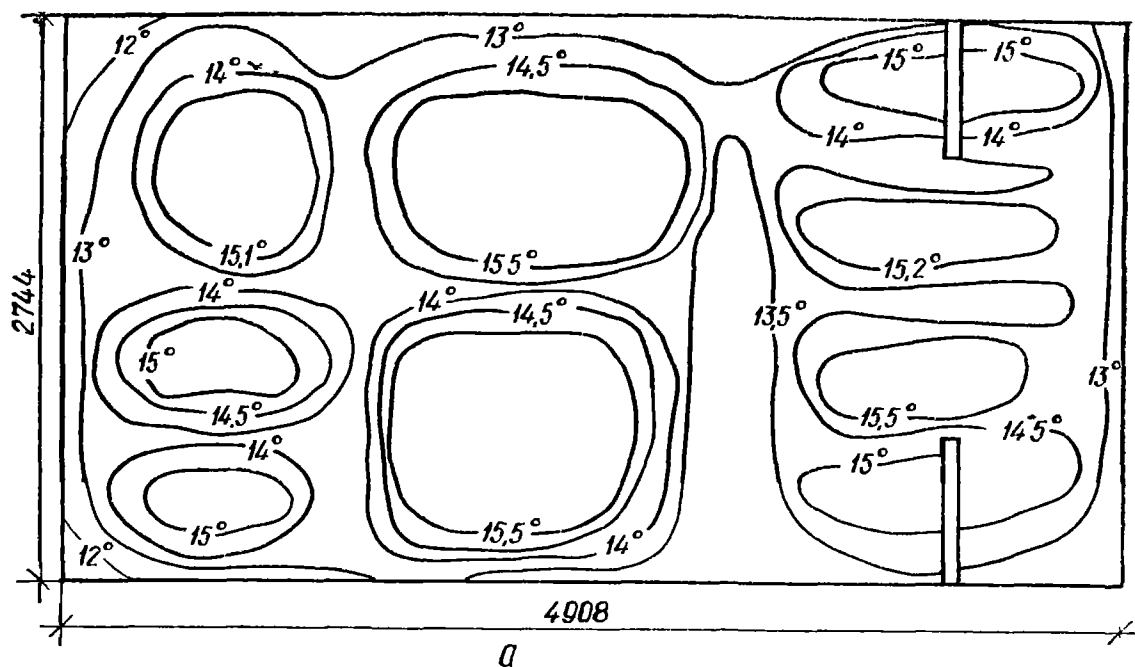


Рис. V.4. Габариты испытываемого мобильного здания.

Таблица V.2. Основные теплотехнические показатели ограждающих конструкций здания

| Вид ограждающей конструкции                   | $\bar{\tau}'_B, \Gamma \tau'_B, \Delta t, \Gamma \Delta t, ^\circ\text{C}$ |     |     |     | $\bar{\alpha}_B, \Gamma \bar{\alpha}_B, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ |     | $R_o^{\text{пр}}, \Gamma R_o^{\text{пр}}, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ |     |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|--------------------------------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Покрытие                                      | 11                                                                         | 0,1 | 5   | 0,3 | 5,8                                                                            | 0,5 | 2                                                                              | 0,2 |
| Перекрытие                                    | 14,6                                                                       | 0,1 | 2,9 | 0,2 | 4,5                                                                            | 0,4 | 4,6                                                                            | 0,4 |
| глухое стеновое ограждение с окном            | 10,6                                                                       | 0,1 | 6,5 | 0,3 | 5,0                                                                            | 0,4 | 1,7                                                                            | 0,2 |
|                                               | 10,1                                                                       | 0,1 | 8,1 | 0,5 | —                                                                              | —   | 1,1                                                                            | —   |
| Фрагмент стенового ограждения с утеплителем   |                                                                            |     |     |     |                                                                                |     |                                                                                |     |
| из плиточного резопена и базальтовой ваты     | 11,6                                                                       | 0,1 | 6,2 | 0,3 | —                                                                              | —   | 1,8                                                                            | 0,2 |
| из плиточного резопена и полиуретанового клея | 12,1                                                                       | 0,1 | 5,8 | 0,3 | —                                                                              | —   | 2                                                                              | 0,2 |
| КИП-Д заливочным ФРП-1                        | 12,2                                                                       | 0,1 | 5,8 | 0,3 | —                                                                              | —   | 2                                                                              | 0,2 |



характеристики (см. табл. V.2), при использовании плиточных утеплителей (пеннопластовых из минераловатных плит) можно [50] путем заливки стыковочных узлов и элементов эластичным газонаполненным, вспенивающимся материалом, обладающим достаточной адгезией по отношению к металлическим и неметаллическим элементам ограждений. Этим свойством обладает, например, полиуретановый клей КИП-Д (см. гл. II).

Эффективность предложенного решения проверяют путем испытания трех опытных фрагментов, отличающихся характером заполнения среднего слоя и стыковочных узлов (рис. V.6). Фрагменты одновременно устанавливают в проеме климатической камеры для испытания плоских конструкций (см. рис. V.1.а). Испытания показали, что температурные поля фрагментов (см. рис. V.6) с запол-

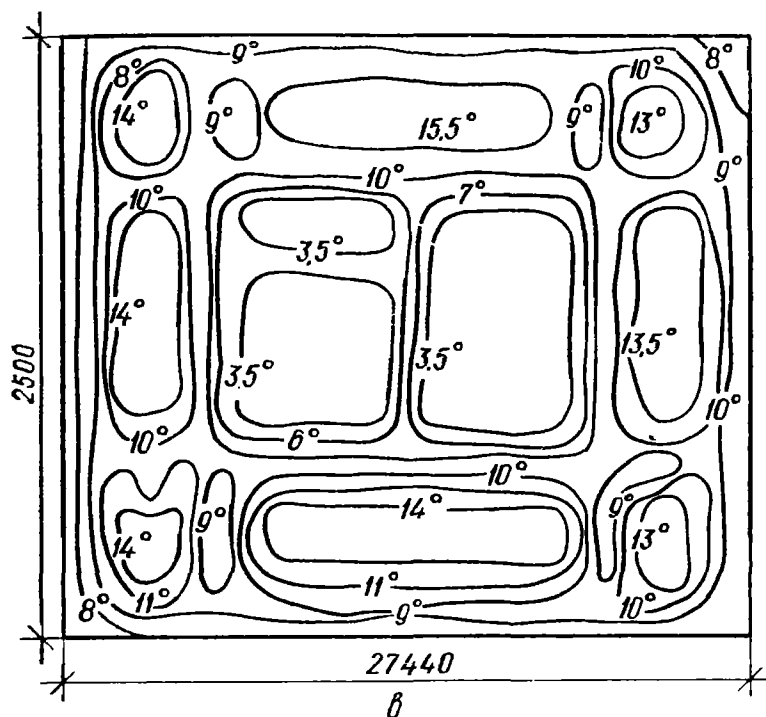
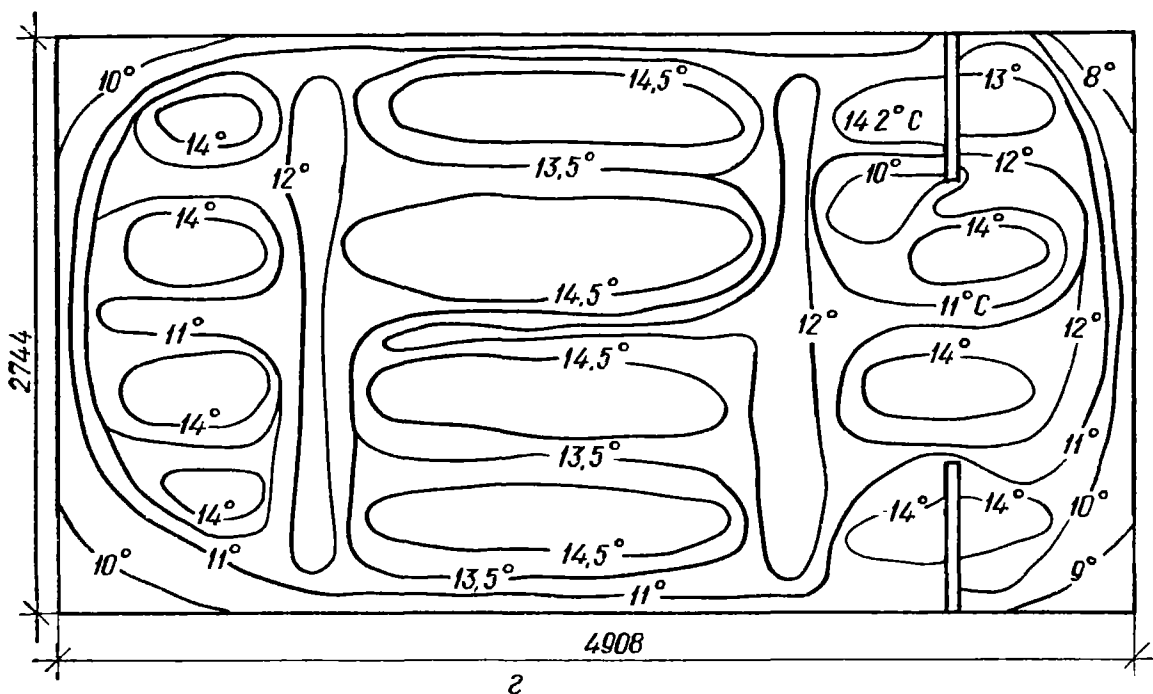


Рис. V.5. Температурные поля внутренних поверхностей пола (а), глухой стены (б), стены с окном (в), потолка (г) при  $t_{в} = +18^{\circ}\text{C}$  и  $t_{н} = -40^{\circ}\text{C}$ .



нением среднего слоя и стыков заливочным ФРП-1 и плиточным резопеном с клеем КИП-Д более равномерны, чем при заполнении панелей плиточным пенопластом и базальтовым волокном. На внутренней поверхности первых двух фрагментов не наблюдалось понижения температуры до конденсации паров при расчетных параметрах воздуха. Из данных табл. V.2 следует, что первые два фрагмента имеют и более высокие интегральные теплотехнические характеристики.

Некоторое несовпадение показателей фрагмента с плиточным резопеном и базальтовой ватой и аналогичными конструкциями исследованного контейнера объясняется тем, что во фрагменте тщательнее заполнялось утеплителем пространство между наружной обшивкой и верхней полкой Z-образных профилей. Для количественной оценки этого фактора проводят следующий эксперимент.

С помощью установки, представленной на рис. V.1, в, определяют теплотехнические показатели фрагментов ограждений размерами  $1 \times 1$  м при неполном и полном заполнении утеплителем внутренних полостей. В результате температура внутренней поверхности зоны теплопроводного включения с незаполненным пространством между верхней полкой металлического профиля и наружной обшивкой становится в среднем на  $1,2^\circ\text{C}$  ниже температуры поверхности аналогичной зоны с полностью заполненным средним слоем, что свидетельствует о необходимости тщательного заполнения утеплителем пространств в зонах ребер жесткости.

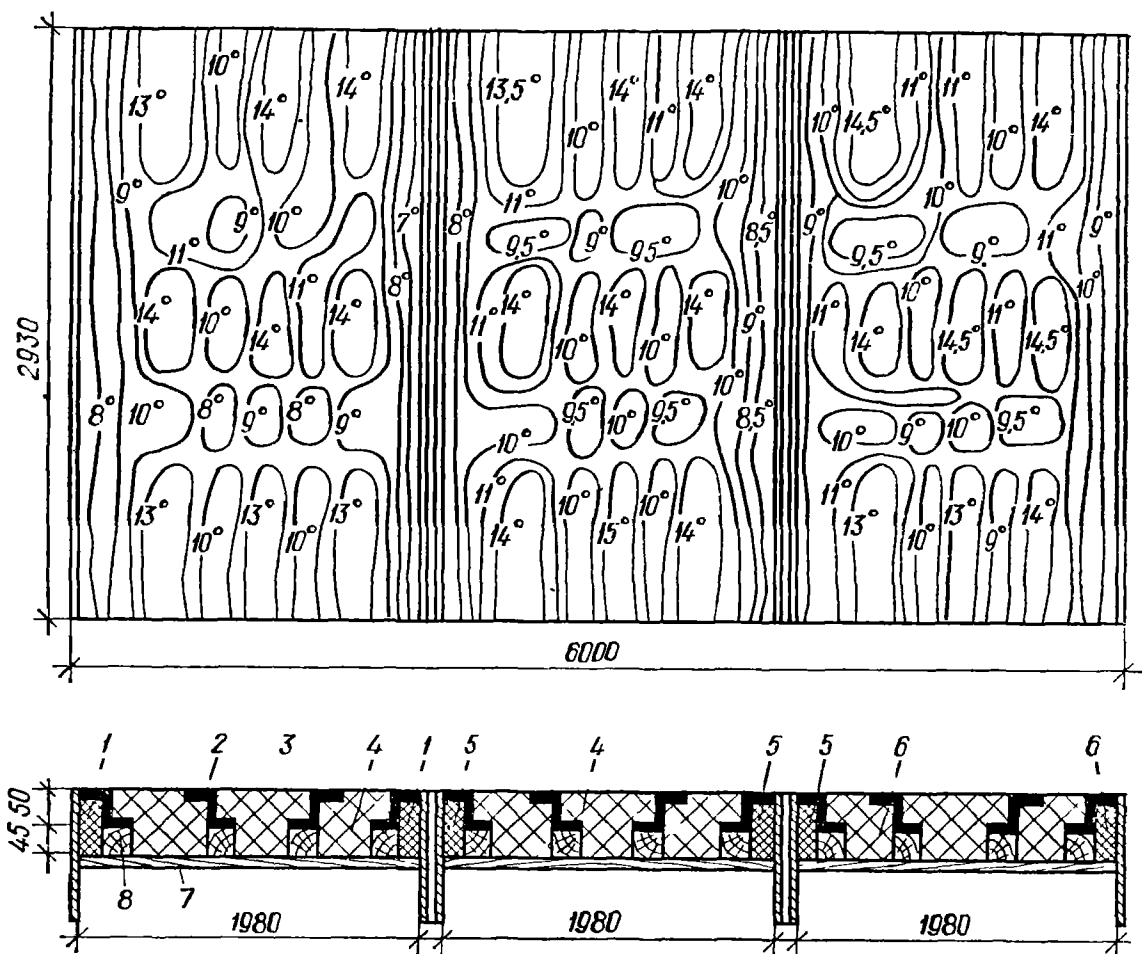


Рис. V.6. Температурные поля и конструкция опытных фрагментов испытываемых ограждений мобильного здания при  $t_{в} = +18^\circ\text{C}$  и  $t_{н} = -40^\circ\text{C}$ :

1 — базальтовая вата; 2 — металлические профили; 3 — металлическая обшивка; 4 — плиточный резопен; 5 — полиуретановый клей КИП-Д; 6 — заливочный резопен ФРП-1; 7 — внутренняя обшивка из листов на основе древесины; 8 — деревянные бруски.

Дальнейшего повышения теплотехнических показателей рассматриваемых многослойных облегченных конструкций можно добиться следующим образом. Между деревянными и металлическими элементами каркаса панелей обычно имеется контактное сопротивление теплопередаче в результате макрошероховатости, кривизны брусков. Однако в результате перевозок панелей или зданий в целом, действия ветровых, силовых нагрузок на некоторых участках панелей возможен очень плотный контакт между деревянным бруском и металлическим профилем. Расчеты температурных полей на ЭВМ [41] показывают, что на участках с плотным контактом температура внутренней поверхности на  $1^\circ\text{C}$  ниже температуры конденсации паров при расчетных параметрах воздуха. Для устранения недопустимого температурного режима следует обеспечивать гарантированный зазор между деревянным бруском и металлическим профилем. В заводских условиях изготовления панелей его несложно сделать путем нанесения тонкого слоя клеящегося вспенивающегося эластичного материала, например, клея

КИП-Д (см. гл. II), на поверхность теплоизолирующего бруска. Исследования фрагментов показывают, что температура внутренней поверхности зоны теплопроводного включения с плотным контактом на 3,5 °С ниже, чем включения с гарантированным зазором, созданным с помощью клея КИП-Д.

Описанные конструктивные мероприятия повышают не только локальные, но и интегральные теплотехнические показатели ограждающих конструкций. Так приведенное термическое сопротивление ограждений рассмотренного мобильного здания повысилось при осуществлении приведенных предложений почти на 20 %.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

**Пример.** Определить изменение влажности и температуры теплоизолирующего материала многослойных облегченных ограждений, конструкция которых описана выше. Исследования проводят с помощью установки (см. рис. V.1,б).

Параметры климатических воздействий, с помощью которых имитируют характерные эксплуатационные режимы, приведены в табл. V.3.

**Таблица V.3. Параметры характерных режимов эксплуатации, имитируемых в процессе испытаний**

| Характерный режим             | Темпе-<br>ратура,<br>°С | Относи-<br>тельная<br>влаж-<br>ность, % | Темпе-<br>ратура,<br>°С | Относи-<br>тельная<br>влаж-<br>ность, % | Продол-<br>житель-<br>ность<br>имитации<br>режима.<br>сут |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                               | воздуха                 |                                         |                         |                                         |                                                           |
|                               | наружного               |                                         | внутреннего             |                                         |                                                           |
| Зимний (влагонакопления)      | —8,5                    | 80                                      | 18                      | 95                                      | 90                                                        |
| Весенне-осенний (нейтральный) | +18                     | 75                                      | +18                     | 90                                      | 60                                                        |
| Летний (сушки)                | +32                     | 60                                      | +22                     | 80                                      | 90                                                        |

При исследовании изменения влажностного режима рассматриваемых ограждающих конструкций имитация годового цикла климатических воздействий обязательна, так как влага, накопившаяся в конструкции в зимнее время, удаляется в летнее время только в сторону помещения. Учитывая высокую влажность воздуха помещений в вероятных условиях эксплуатации, возможность испарения влаги из конструкций требует экспериментальной проверки теплотеметрическими методами. Плотность тепловых потоков при имитации зимнего режима измеряют по ГОСТ 25380—82. При имитации летнего режима теплотеметрические измерения проводят устройствами, с помощью которых можно оценить массообменную составляющую теплового потока по суммарному значению этого потока, проходящего через высушиваемое ограждение. Устройства (рис. V.7,а) состоят из двух соосно расположенных тепломеров по ГОСТ 25380—82, контактирующих между собой через перфорированную пластину [12]. Тепломер 1 измеряет сухую составляющую теплового потока, а тепломер 2 — результирующий тепловой поток, подведенный от исследуемой конструкции к температуровыравнивающей пластине. Плотность потока испаряющейся влаги из конструкции определяют по уравнению, полученному из решения системы уравнений теплового баланса для температуровыравнивающей пластины

$$j_1 = q_m / r_{12} = (q_2 - q_1) \frac{F_\Sigma}{F_3} (1 + R_r \alpha) / r_{12},$$

где  $q_m$  — массовая составляющая теплового потока;  $F_\Sigma$  — суммарная площадь тепломассомера;  $F_3$  — площадь пластины 3.

Тепломассомеры устанавливают в специально подготовленные перфорированные посадочные гнезда в древесной обшивке исследуемой конструкции. Поверхность пластины 3, свободная от тепломера 1 и обращенная в «помещение»,

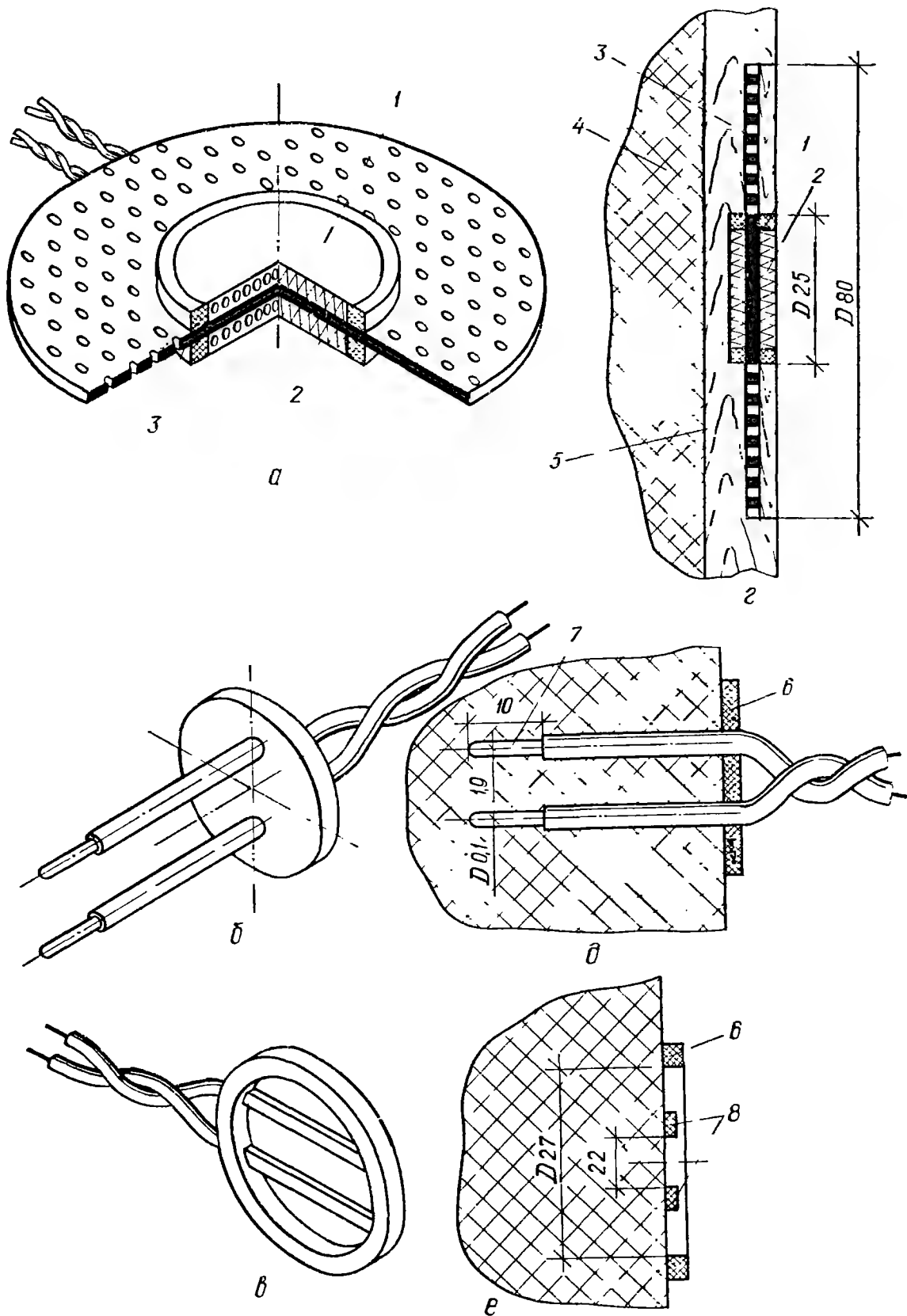


Рис. V.7. Устройство тепломассомера (а), кондуктометрических датчиков влажности игольчатого (б) и поверхностного (в) типов и схемы установки их в конструкцию (г, д, е):

1, 2 — тепломеры, 3 — температуровыравнивающая перфорированная пластина; 4 — утеплитель исследуемой конструкции; 5 — внутренняя обшивка из древесных листов; 6 — обойма из диэлектрика; 7 — стальные электроды; 8 — электроизоляционное покрытие.

полностью покрывают срезом внутренней обшивки конструкции 5. Тепловой контакт обеспечивают нанесением тонкого слоя кварцевой пудры между пластиной 3 и обшивкой 5, благодаря чему отверстия пластины 3 образуют с 5 и 6 своеобразные четочные капилляры (см. рис. V.7,з).

Температурные поля ограждений определяют с помощью медьконстантановых термопар (см. с. 132) и автоматизированной системы измерения температуры [43]. Влажностные поля определяют с использованием кондуктометрических датчиков влажности, состоящих из двух электродов из нержавеющей стали IX18H9T, закрепленных в специальной обойме (см. рис. V.7,б,в,д,е). Уста-

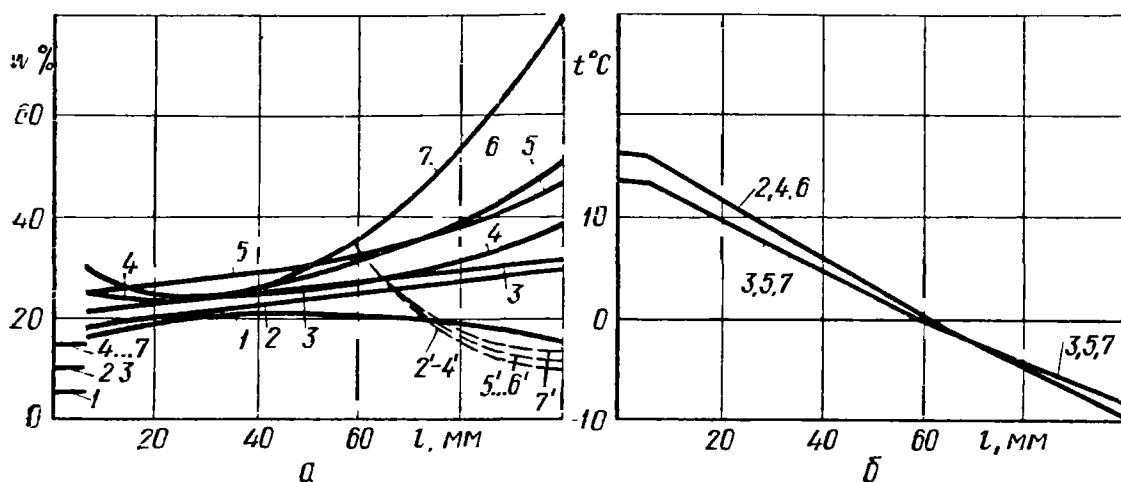


Рис. V.8. Распределение влажности (а) и температуры (б) по сечению испытуемого ограждения при имитации зимнего режима его эксплуатации:

1 — в начальный момент времени; 2 — через 30 сут по основному полю; 3 — то же, в зоне теплопроводного включения; 4 — через 60 сут по основному полю; 5 — то же, в зоне включения; 6 — через 90 сут по основному полю; 7 — то же, в зоне включения; 2' ... 7' — содержание жидкой влаги в зоне отрицательных температур, соответствующее кривым 2...7.

навливают датчики в утеплителе в процессе изготовления конструкции. В качестве вторичного прибора при измерении электрических сопротивлений утеплителя используют универсальный мост Е7-4, преимущество которого — в возможности измерений сопротивлений переменному току повышенной частоты. Это позволяет существенно снижать полярность электродов, обусловленную ионным характером проводимости влажных материалов, которая искажает результаты измерений на постоянном токе. Относительную влажность воздуха в экспериментальной установке определяют с помощью дистанционной системы измерения температуры и влажности воздуха (см. рис. V.2).

Начальное распределение влажности утеплителя описывается кривой 1 на рис. V.8,а. Средняя начальная влажность утеплителя равна 18,5 %. Через 30 сут имитации зимнего режима влагосодержание утеплителя увеличивается, а распределение влажности по его сечению близко к линейному. Вследствие термической неоднородности конструкций влажность утеплителя в зоне теплопроводного включения (Z-образного профиля с теплоизолирующим брусом) выше влажности утеплителя основного поля конструкции.

Через 40...45 сут имитации зимнего режима распределение влажности приобретает явно нелинейный характер (см. рис. V.8,4...7), что обуславливается образованием твердой фазы влаги в количестве, способном активно влиять на характер распределения влажности по сечению конструкции. После 90 суток имитации зимнего режима среднее массовое влагосодержание утеплителя конструкции повысилось на 10 %, а в зоне включения — на 23. Однако увлажнение утеплителя не привело к существенному увеличению тепловых потоков через исследуемую конструкцию и разности между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхности (см. рис. V.8,б). Это объясняется тем, что термическое сопротивление ограждения определяется характером распределения влаги в толще утеплителя, а основное количество ее сосредоточено вблизи наружной обшивки,



где температура ниже  $0^{\circ}\text{C}$  (см. рис. V.8). При наблюдаемых значениях влагосодержания теплопроводность резопена в зоне отрицательной температуры ниже, чем в зоне положительной (см. рис. I.3).

Кондуктометрический метод позволяет определять температуру начала заморзания  $t_{н.з}$  влаги в порах материала в зависимости от его общего влагосодержания, а также количество незамерзшей  $w_2$  влаги в материале при температуре ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Эти характеристики находят по уравнениям Ю. Д. Ясина [34] (см. с. 135).

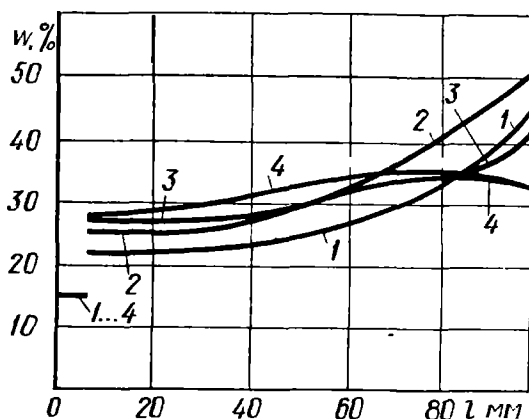


Рис. V.9. Распределение влажности по сечению испытываемого ограждения при имитации весеннего режима его эксплуатации:

1 — через 15 сут основное поле; 2 — то же, зона включения; 3 — основное поле и зона включения через 35 сут; 4 — то же, через 60 сут.

Для утеплителя рассматриваемых ограждений при  $-10^{\circ}\text{C} \leq t \leq 0^{\circ}\text{C}$  и  $15\% \leq w \leq 150\%$

$$t_{н.з} = (-0,06 w - 3,9) / (0,93 w - 0,57);$$

$w_2 = 8,57 + 0,07 w - (0,06 w + 3,9) / t$ , где  $t_{н.з}$  — температура начала заморзания влаги в порах материала.

По последнему уравнению построены кривые 2'...7' на рис. V.8,а, описывающие количество влаги в жидком состоянии в зоне отрицательной температуры утеплителя конструкции.

Перенос влаги в весенний (осенний) режим эксплуатации зданий в основном определяется градиентом влагосодержания. Через 15 сут имитации весеннего режима влажность по основному полю утеплителя продолжает увеличиваться, а в зоне включения уменьшается (рис. V.9, кривые 1 и 2). Это происходит потому, что влага перемещается не только от внутренних обшивок к наружным, но и от зон теплопроводного включения к основному полю. Приблизительно через 35 сут имитации весеннего режима среднее влагосодержание зон включений и основного поля утеплителя выравниваются и перенос влаги происходит только от наружной обшивки к внутренней в парообразном и жидком состояниях. На 60-е сутки имитации весеннего режима среднее влагосодержание утеплителя  $(31 \pm 2)\%$ .

В летний период эксплуатации тепловой поток, вследствие воздействия солнечной инсоляции, большую часть суток направлен от наружной обшивки к внутренней. Это приводит к существенному перераспределению влаги в толще утеплителя. Через 10 сут имитации летнего режима влагосодержание утеплителя описывают прямыми 1, 2 (рис. V.10,а) с ростом влагосодержания по направлению к внутренней обшивке. При этом среднее влагосодержание по основному полю повышается, а в зонах включения понижается. Несмотря на высокую влажность внутреннего воздуха, влага удаляется из конструкции в помещение. Наличие потока испаряющейся влаги с поверхности исследованной конструкции четко фиксируют тепломаассомеры (рис. V.11,а). Зависимость потоков от времени характеризует локальный массообмен между поверхностями конструкции и воздухом, но по этим кривым можно установить характер сушки конструкции, так как они качественно совпадают с кривыми скорости сушки (рис. V.11,б). В первые 10 сут влага удалялась в основном с внутренних обшивок. Затем в период постоянной скорости сушки утеплителя, который длился около 50 сут, влага удалялась из его слоев, прилегающих непосредственно к внутренней обшивке конструкции. Период падающей скорости сушки составлял около 30 сут. К концу испытаний поток влаги, испаряющейся с поверхности конструкции, был близок нулю, сле-

довательно процесс естественной сушки конструкции завершился. В результате было установлено, что после имитации годового расчетного цикла приведенная влажность утеплителя равна начальной, среднегодовая приведенная влажность — 24 % по массе, что на 5,5 % выше начальной.

В летний период в зданиях с мокрым режимом эксплуатации, ограждения которых имеют паронепроницаемую наружную обшивку и средний слой из фенольно-резольного пенопласта, осушение конструкции происходит путем испарения влаги в помещение. Конструктивное решение ограждения с пароизоляционным слоем обеспечивает консервацию ограждения на заданном уровне влаж-

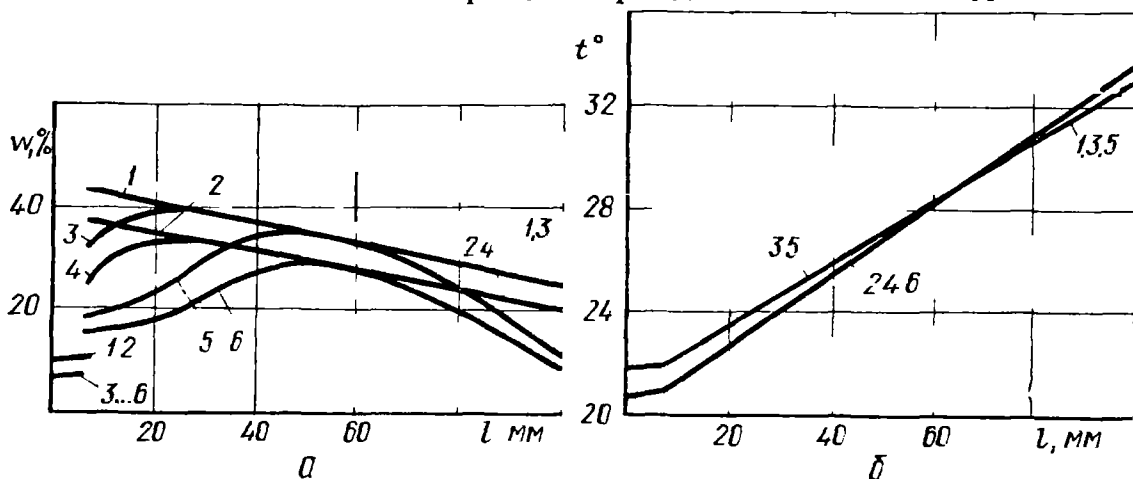


Рис. V.10. Распределение влажности (а) и температуры (б) по сечению ограждения с пароизоляционным слоем при имитации летнего режима его эксплуатации:

1 — через 10 сут, основное поле; 2 — то же, зона включения; 3 — через 25 сут, основное поле; 4 — то же, зона включения; 5 — через 90 сут, основное поле; 6 — то же зона включения.

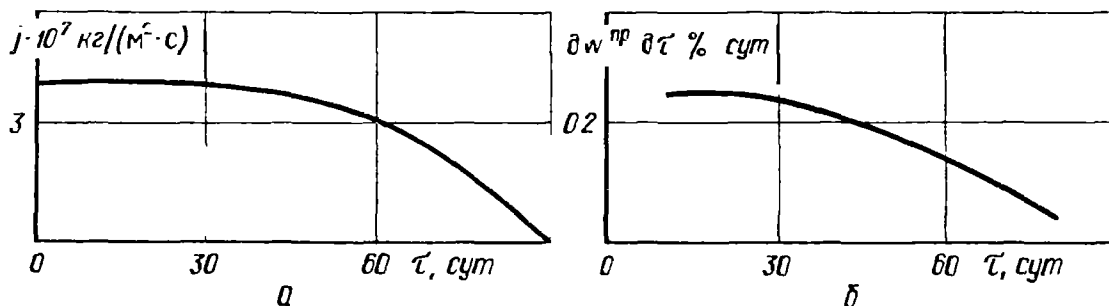


Рис. V.11. Изменение плотности потока испаряющейся влаги с поверхности испытываемого ограждения, измеренной тепломассомерами при имитации летнего режима (а) и кривая скорости сушки его утеплителя (б).

ности. При условии соответствия начальной влажности среднего слоя из фенольных пенопластов и внутренней обшивки из древесных листов значениям СНиП II-3-79\*, этот конструктивный вариант может быть использован в качестве ограждений мобильных (инвентарных) зданий с любым эксплуатационным влажностным режимом. Кроме того, в результате исследований установлены возможные максимальные значения влажности теплоизолирующего материала многослойной конструкции, что необходимо при оценке показателей ее надежности по теплозащите.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Стойкость к климатическим воздействиям тяжелых бетонов (в том числе гидротехнических, дорожных и плотных силикатных), бетонов на пористых заполнителях плотностью более  $1500 \text{ kg}/\text{m}^3$ , яче-

истых бетонов, и облицовочных материалов оценивают испытаниями на морозостойкость.

**Морозостойкость тяжелых бетонов** плотностью более  $1500 \text{ кг/м}^3$  определяют по ГОСТ 10060—76 путем попеременного замораживания их образцов при температуре  $-15\ldots-20^\circ\text{C}$  и оттаивания при температуре  $+15\ldots+20^\circ\text{C}$ . За марку бетона по морозостойкости принимают наибольшее количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое при испытании выдерживают образцы установленных размеров без снижения прочности на сжатие более 15 % по сравнению с прочностью образцов, испытанных в эквивалентном возрасте.

Образцы замораживают в климатической камере или морозильной установке, обеспечивающей возможность охлаждения камеры с образцами и поддержания температуры в ней  $-15\ldots-20^\circ\text{C}$ . Температуру контролируют в центре камеры. Образцы загружают в камеру после охлаждения воздуха в ней до  $-15^\circ\text{C}$  и ниже. Продолжительность одного замораживания при установившейся температуре для образцов размерами  $100\times100\times100$  и  $150\times150\times150$  мм не менее 4 ч, образцов размерами  $200\times200\times200$  мм — не менее 6 ч.

Оттаивают образцы размерами  $100\times100\times100$ ;  $150\times150\times150$  и  $200\times200\times200$  мм после выгрузки из холодильной камеры в ванне с пресной водой, температуру которой поддерживают в пределах  $15\ldots20^\circ\text{C}$  в течение не менее 4 ч. При этом образцы устанавливают так, чтобы каждый из них был окружен со всех сторон слоем воды толщиной не менее 20 мм. По результатам испытаний устанавливают для данного состава бетона марку по морозостойкости.

Ускоренные методы испытаний используют при корректировке составов бетона и для оперативного производственного контроля его качества. Морозостойкость ускоренным методом определяют путем замораживания образцов при температуре  $(-50\pm2)^\circ\text{C}$ , выдерживании при этой температуре образцов в форме куба с ребрами размером 100...150 мм в течение 1 ч, а 200 мм — в течение 2 ч, последующего повышения температуры в камере до  $-10^\circ\text{C}$  в течение 2 ч и оттаивания образцов в воде в течение 4 ч. Выдержавшими испытания считают образцы, прочность которых снизилась по отношению к контрольным в эквивалентном возрасте не более чем на 15 %.

**Морозостойкость ячеистых бетонов** определяют по ГОСТ 12852.4—77 на образцах размером  $100\times100\times100$  мм. Количество циклов попеременного замораживания и оттаивания устанавливают в соответствии с проектной маркой бетона по морозостойкости.

Основные образцы, предназначенные для испытаний на морозостойкость, и контрольные перед испытаниями на прочность при сжатии насыщают водой путем заливки до  $1/3$  их высоты и выдержки при этом в течение 8 ч. Затем образцы заливают до  $2/3$  высоты и выдерживают еще в течение 8 ч. После этого их заливают таким образом, чтобы уровень воды был выше верха образца на 2 см, и выдерживают в камере с относительной влажностью воздуха около

95 % при температуре  $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$  до завершения испытания основных образцов.

Основные образцы замораживают при температуре  $-15^\circ\text{C}$  в течение 4 ч. Оттаивают они в камере с относительной влажностью воздуха 95 % при температуре  $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение 4 ч.

Если прочность основных образцов не более чем на 15 % ниже прочности контрольных, то марку бетона по морозостойкости принимают равной количеству циклов, в течение которых проводились испытания.

**Морозостойкость стеновых и облицовочных материалов** определяют по ГОСТ 7025—78 путем многократного объемного или одностороннего замораживания насыщенных водой образцов в воздушной среде при температуре  $-15\ldots-20^\circ\text{C}$  и оттаивания в воде при температуре  $+15\ldots+20^\circ\text{C}$ . Оценивают морозостойкость материала по потере прочности при сжатии, по потере массы, по степени повреждения образцов. Характеризуется она количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Испытания проводят на таких образцах материалов: кирпича и камня пустотелого керамического — в виде целых изделий или их половинок;

пустотелых камней и изделий из бетона на пористых заполнителях плотностью менее  $1500\text{ кг/м}^3$  — в виде куба с ребром размером 70, 100 и 150 мм или в виде цилиндра, диаметр которого равен его высоте;

плит облицовочных из естественного камня, бетона и других материалов — размерами не менее  $100 \times 100\text{ мм}$  и толщиной, равной толщине изделий.

Образцы материалов до начала испытаний погружают в воду и выдерживают там в течение 48 ч:

Объемное замораживание проводят в камере с температурой воздуха  $-15^\circ\text{C}$  в течение времени, ч:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Плит толщиной до 25 мм . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2 |
| Образцов (кубов и цилиндров) плотностью $1200\ldots1800\text{ кг/м}^3$ (кубов длиной ребра или высотой и диаметром цилиндра до 100 мм включительно): для образцов плотностью более $1800\text{ кг/м}^3$ до 150 мм; для плит толщиной более 25 мм, пустотелых материалов и кирпича всех видов . . . . . | 4 |
| Образцов плотностью $1200\ldots1800\text{ кг/м}^3$ и с ребрами куба длиной (или диаметром цилиндра и его высотой) 150 мм . . . . .                                                                                                                                                                     | 6 |
| Образцов из материалов плотностью менее $1200\text{ кг/м}^3$ и с ребрами куба длиной (или высотой и диаметром цилиндра) 150 мм . . . . .                                                                                                                                                               | 8 |

Оттаивают образцы, полностью погружая их в воду и выдерживая там в течение периода, равного половине продолжительности замораживания.

При оценке морозостойкости по потере прочности поверхность испытанных и контрольных образцов выравнивают цементным тестом или раствором по ГОСТ 8462—75 и выдерживают их в течение 48 ч. Испытывают на сжатие каждый образец в отдельности по ГОСТ 8462—75. При оценке морозостойкости по потере массы ис-

пытанные и контрольные образцы природного камня и керамических материалов высушивают при температуре  $+105...+110^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы, образцы других материалов взвешивают в насыщенном водой состоянии с погрешностью не более 0,2 %. При оценке морозостойкости по степени повреждения образцы осматривают через каждые 5 циклов при 15 и 25 циклах попеременного замораживания и оттаивания и через каждые 10 циклов при 35 и 50 циклах попеременного замораживания и оттаивания. Осматривают образцы после оттаивания.

Морозостойкость при одностороннем замораживании испытывают с помощью установки (см. рис. V.1, в), где на место испытываемой конструкции устанавливают кассету с образцами материала.

Испытания проводят в той же последовательности и при тех же режимах, что и при объемном замораживании.

**Атмосферостойкость герметиков** оценивается испытаниями их на старение [27] с контролем изменения прочности при разрыве, удлинения при разрыве, остаточного удлинения после разрыва, продольных деформаций, скоростью распространения ультразвуковых волн, кагезионно-адгезионной прочности, стекания нетвердеющих мастик.

Цикл испытаний герметика на атмосферостойкость равен 48 ч и состоит из двух равных по продолжительности полуциклов. В течение первого герметик подвергают воздействию ультрафиолетового облучения (3 ч), замачиванию в воде при температуре  $(+18 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  (2 ч), нагреву при комнатной температуре (16 ч). Десять циклов испытаний условно приравнивают к одному году эксплуатации герметика при работе в стыке сборной конструкции. Ускоренное старение герметиков осуществляют путем их попеременного замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания.

Параметры циклов воздействий определяют в зависимости от района эксплуатации здания, герметизацию стыков которого осуществляют испытываемым герметиком. Для климатических условий Украины режимы испытаний герметиков на атмосферостойкость следующие [21].

**Замораживание-оттаивание:**

|                                                                        |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Понижение температуры в центре образца от $+5$ до $-5^{\circ}\text{C}$ | 1 ч   |
| Выдерживание образцов при температуре $-5^{\circ}\text{C}$             | 1 ч   |
| Оттаивание образцов до температуры $+5^{\circ}\text{C}$                | 0,5 ч |

Эти режимы повторяют три раза, а затем следует:

|                                                                      |       |
|----------------------------------------------------------------------|-------|
| Понижение температуры в центре образцов до $-10^{\circ}\text{C}$     | 1 ч   |
| Выдерживание образцов при температуре $-10^{\circ}\text{C}$          | 1 ч   |
| Оттаивание образцов до температуры $+5^{\circ}\text{C}$              | 0,5 ч |
| Понижение температуры в центре образцов до $-15^{\circ}\text{C}$     | 1 ч   |
| Выдерживание образцов при температуре $-15^{\circ}\text{C}$          | 1 ч   |
| Оттаивание образцов до температуры $+5^{\circ}\text{C}$              | 0,5 ч |
| Понижение температуры до $-20^{\circ}\text{C}$                       | 1 ч   |
| Выдерживание образцов при температуре $-20^{\circ}\text{C}$          | 1 ч   |
| Оттаивание образцов до температуры $+5^{\circ}\text{C}$              | 0,5 ч |
| Полное время замораживания-оттаивания для герметизирующих материалов | 15 ч  |

## Увлажнение-высушивание:

|                                                                                                                                            |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Полное погружение в воду . . . . .                                                                                                         | .0,15 ч |
| Облучение имитаторами солнечной радиации (три ртутные лампы ПРК-7М мощностью по 1кВт) на расстоянии 21 см от источника излучения . . . . . | .0,5 ч  |

Указанный цикл повторяют 14 раз.

**Атмосферостойкость стыков** ограждающих конструкций с данным видом герметика определяют на фрагментах размером не менее  $1 \times 1$  м и толщиной в натуральную величину [27]. Фрагмент подвергают 5 циклам ускоренного старения по приведенной выше методике. С помощью установки (см. рис. V. 1, в) его подвергают одностороннему охлаждению в течение 1 мин и с помощью специальных устройств растягивают так, чтобы ширина щели стыка увеличилась в 1,5 раза по сравнению с первоначальной. Затем снимают нагрузку, нагревают образец до температуры  $+50^\circ\text{C}$  и подвергают стык сжатию до получения половины первоначальной его ширины. Образцы оставляют в таком положении на 1 ч, а затем освобождают от нагрузки.

Герметики, рассчитываемые на эксплуатацию в течение 5...6 лет, считают удовлетворяющими требованиям стойкости, если после 5 циклов описанных испытаний не обнаруживается трещин, нарушений герметичности стыка или отставания герметика от стенок щели.

Для установления пригодности стыков, герметизированных данным материалом, в течение более 10 лет эксплуатации их после завершения 11 циклов ускоренного старения по приведенной выше методике выдерживают при температуре  $(+20 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха 65 %. Затем образцы помещают в аппарат для создания переменных деформаций растяжения и сжатия и в течение 2 ч подвергают 1000-кратному растяжению и сжатию, при котором размер щели должен меняться на 20 % по отношению к первоначальному.

Герметики считают удовлетворяющими требованиями стойкости на старение, если после проведения указанных испытаний не наступает разрыв образца, не образуются трещины и раковины, герметик не отстает от основания стыка.

**Морозостойкость закрытопористых пенопластов** (пенополиуретановых, пенополистирольных) определяют на образцах в форме куба по следующему режиму [43]. Увлажняют образцы путем их полного погружения в воду при температуре  $+20^\circ\text{C}$  в течение 8 ч, затем замораживают в воздушной среде при температуре  $-20^\circ\text{C}$  в течение 16 ч. Общая продолжительность цикла испытаний 24 ч.

Параметры испытаний на морозостойкость пенопластов по другим методикам приведены в табл. V.4.

**Стойкость к цикловым температурно-влажностным воздействиям закрытопористых пенопластов** определяют на образцах в форме куба с размером ребра 5 см. Режим испытаний подбирают исходя из условий эксплуатации зданий. Для получения сравнитель-

Таблица V.4. Параметры испытаний строительных пенопластов на морозостойкость [61]

| Автор методики   | Размеры образцов, мм              | Замораживание          |                      | Оттаивание             |                      |
|------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|                  |                                   | Температура, °C        | Продолжительность, ч | Температура, °C        | Продолжительность, ч |
| ВНИИстройполимер | 100×100×100                       | —18                    | 4                    | +20                    | 2                    |
| МИСИ             | 100×100×100                       | —18                    | 4                    | +20<br>(в воде)        | 2                    |
| ЦНИИЭП жилища    | 30×30×30<br>150×30×30<br>150×15×8 | —40<br>(одностороннее) | 8<br>8               | +40<br>(одностороннее) | 8                    |
| НИИМосстрой      | 50×50×50                          | —25                    | 3                    | +20<br>(в воде)        | 3                    |

ных данных рекомендуют [43] следующий цикл испытаний: увлажнение образцов в воде или в условиях повышенной влажности воздуха при температуре +20 °C в течение 8 ч, замораживание при температуре —60 °C в течение 16 ч, оттаивание при температуре +20 °C в течение 8 ч и прогревание при температуре +60 °C в течение 16 ч. Общая продолжительность цикла испытаний 48 ч.

**Открытопористые пенопласты** (например, ФРП-1, резопен) обладают значительным водопоглощением и увлажнение их путем замачивания в воде в течение 8 ч повышает влагосодержание по массе до 1500 %, то есть поры материала почти на 90 % заполняются водой. Оценка долговечности открытопористых пенопластов по приведенным выше методикам не дает результатов, адекватных процессам, протекающим в условиях эксплуатации этих утеплителей в ограждающих конструкциях.

При выборе режимов замораживания-оттаивания-нагрева необходимо учитывать реальные условия эксплуатации утеплителя в ограждении, а также характер физических процессов, протекающих в материале. Продолжительность циклов замораживания-оттаивания-увлажнения рассчитывают в зависимости от размеров образцов, условий теплообмена в процессе их испытаний и специально определенных теплофизических свойств материала по методикам, описанным выше в настоящей главе.

Стойкость к климатическим воздействиям открытопористых пенопластов, эксплуатируемых в качестве утеплителя ограждений зданий в условиях Украины, определяют следующими испытаниями [52].

На знакопеременные температурные воздействия испытания проводят по режиму: 4 ч охлаждения при температуре от +18...+20 °C до —30 °C, 8 ч замораживания при температуре —30 °C, 8 ч оттаивания на воздухе при температуре +18...+20 °C, 16 ч нагрева при температуре воздуха +60 °C и его относительной влажности 95 %.

Стойкость к периодическому замораживанию-оттаиванию проверяют по режиму: 4 ч охлаждения при температуре от  $+18...+20^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ , 8 ч замораживания при температуре  $-30^{\circ}\text{C}$ , 8 ч оттаивания на воздухе при температуре  $+18...+20^{\circ}\text{C}$  и 4 ч оттаивания в воде при температуре  $+16...+20^{\circ}\text{C}$ .

Стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям оценивают по режиму: 4 ч охлаждения при температуре от  $+18...+20^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$ , 8 ч замораживания при  $-30^{\circ}\text{C}$ , 8 ч оттаивания на воздухе при температуре  $+18...+20^{\circ}\text{C}$ , 16 ч нагрева при температуре воздуха  $+60^{\circ}\text{C}$  и его относительной влажности 95 %, 0,5 ч увлажнения жидкой влагой при температуре  $+18...+22^{\circ}\text{C}$ .

Для дифференциальной оценки влияния разных факторов на интенсивность старения пенопластов, а именно, воздействия низких и высоких температур, увлажнения жидкой и парообразной влагой, три группы образцов-близнецов параллельно испытывают на стойкость к знакопеременным температурным воздействиям, циклическим температурно-влажностным и периодическому замораживанию-оттаиванию.

Долговечность пенопластов оценивают по изменению сопротивления сжатию при 10 %-й деформации образца, определяемой испытанием кубика размером ребра 5 см по ГОСТ 17177.9—81. Безотказность теплозащиты оценивают по изменению теплопроводности пенопласта путем испытания его методом стационарного теплового потока по ГОСТ 7076—78. Указанным испытаниям подвергают образцы пенопластов размером  $30\times 30\times 8$  ( $\pm 5$ ) см. После определенного количества циклов образцы приводят в соответствие с требованиями ГОСТ 17177.9—81 и ГОСТ 7076—78. При этом размеры образцов, подвергающихся соответствующим климатическим воздействиям, могут колебаться в указанных пределах, так как влияние масштабного фактора на изменение контролируемых параметров незначительно [52]. Плотность пенопластов существенно влияет на все их механические показатели, поэтому при испытаниях используют характеристику нормируемой прочности пенопласта [37], равную отношению предела прочности образца к плотности того же образца.

Результаты испытаний стойкости пенопластов к климатическим воздействиям представляют в виде зависимостей соответствующих контролируемых параметров от количества циклов воздействия. Для фенольно-резольных пенопластов эти зависимости представлены на рис. V.12 [52].

Зафиксированные в результате испытаний изменения контролируемых показателей представляют также в виде функций от произведения средней влажности материала  $w$  в процессе его испытаний и удвоенной амплитуды  $\Delta t$  температурных воздействий. Для фенольно-резольного пенопласта резопен подобные зависимости представлены на рис. V.13.

Для удобства практических расчетов зависимости, представленные на рис. V.13, описывают в виде следующих уравнений регрессии:



для сопротивления сжатию

$$\sigma_{сж} = \sigma_0 - a_1 \Delta t w - a_2 \Delta t w n, \quad (V.23)$$

для теплопроводности

$$\lambda = \lambda_0 + a_3 \Delta t w + a_4 \Delta t w n, \quad (V.24)$$

где  $\sigma_0, \lambda_0$  — соответственно сопротивление сжатию и теплопроводность материала в начальный момент времени;  $a_1, a_2, a_3, a_4$  — эмпирические коэффициенты.

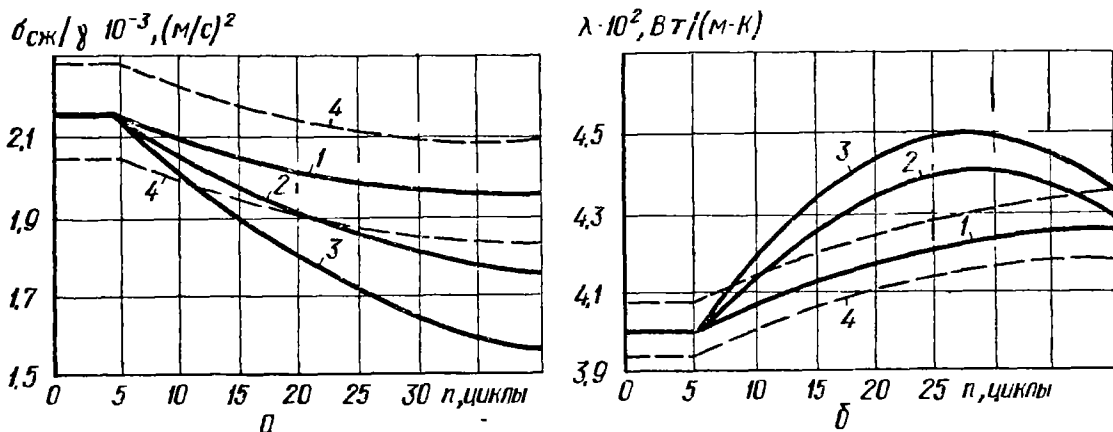


Рис. V.12. Изменение сопротивления нормированной прочности на сжатие (а) и теплопроводности (б) пенопласта резопена в процессе его испытаний на стойкость к климатическим воздействиям:

1 — знакопеременные температурные воздействия; 2 — испытания на стойкость периодическому замораживанию-оттаиванию; 3 — циклические температурно-влажностные воздействия; 4 — границы доверительного интервала.

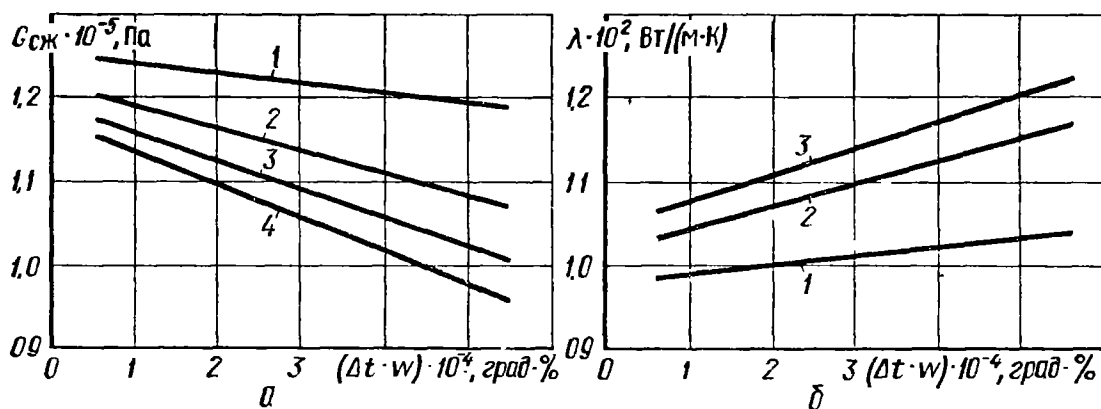


Рис. V.13. Зависимость сопротивления сжатию (а) и теплопроводности (б) пенопласта резопен от амплитуды температурных воздействий средней влажности материала и количества циклов испытаний на стойкость к климатическим воздействиям:

1 —  $n=10$ ; 2 —  $n=20$ ; 3 —  $n=30$ ; 4 —  $n=40$ .

Зависимости типа (V.23)...(V.24) необходимы при количественной оценке показателей надежности ограждающих конструкций, утепленных изучаемым материалом, по результатам его испытаний на стойкость к климатическим воздействиям. Открытопористая структура указанных выше пенопластов вызывает трудности при регулировании влагосодержания образцов в процессе испытаний. Исследования проводят при влагосодержании образцов, намного пре-

вышающем среднее эксплуатационное и даже возможное максимальное влагосодержание утеплителя ограждающих конструкций. Уравнения типа (V.23)...(V.24) позволяют определить близкое к реальному снижению основных эксплуатационных показателей испытываемого материала при среднегодовой эксплуатационной влажности, которую определяют по результатам экспериментальных или расчетных исследований температурно-влажностного состояния конструкций (см. гл. IV).

При определении изменения других теплофизических свойств (например, температуропроводности, теплоемкости) теплоизоляционных материалов при температурно-влажностных воздействиях на них, испытания проводят по описанной выше методике. После соответствующего количества циклов воздействий определяют указанные параметры материала импульсными методами. Результаты испытаний представляют по схеме, аналогичной описанной на с. 164.

### **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Надежность теплозащиты зданий определяется надежностью их ограждающих конструкций, которую, в свою очередь, характеризуют качественными единичными показателями долговечности и безотказности.

При оценке долговечности ограждающих конструкций определяют продолжительность доремонтного периода эксплуатации конструкции, анализируя физико-механический аспект проблемы. Прогнозирование долговечности в указанный период носит сравнительный характер. Выбирают конструкцию ограждения с наибольшей сравнительной степенью долговечности и для нее уже определяют условную долговечность — продолжительность доремонтного периода.

Это позволяет отобрать для заданных климатических условий наиболее подходящие ограждающие конструкции и оценить их пригодность.

По критериальному методу С. В. Александровского [3] долговечность конструкции характеризуют критериями: по образованию трещин  $K_{от}$ , по раскрытию их  $K_{рт}$  и глубине  $K_{гт}$ .

Отказом стеновой ограждающей конструкции считают такое ее состояние, при котором на наружной поверхности появляются трещины ( $K_{от} > 1$ ), их ширина раскрытия достигает предельно допустимого значения ( $K_{рт} = 1$ ) и ослабление сечения конструкции из-за трещины на ее холодной грани равно предельно допустимому ( $K_{гт} = 1$ ). Для вычисления  $K_{от}$ ,  $K_{рт}$  и  $K_{гт}$  определяют суммарные напряжения в конструкции от совокупности воздействия нагрузки, собственной массы ограждения [3] и внешней среды. Критерии С. А. Александровского определяют для наиболее напряженных точек наружной поверхности ограждения. Чем больше значения выбранного критерия, тем выше степень долговечности ограждения по данному признаку.

Критерий долговечности по образованию трещин определяют по формуле

$$K_{от} = \sigma_p / E_{\sigma_x}^p,$$

где  $\sigma_p$  — расчетная прочность на осевое растяжение материала ограждения;  $E_{\sigma_x}^p$  — предельное во времени значение суммарного наибольшего главного растягивающего напряжения в наиболее напряженной точке.

Критерий долговечности по раскрытию трещин

$$K_{рт} = a_n / a_t,$$

где  $a_n = 0,5$  мм — предельно допустимая величина, а  $a_t$  — суммарная наибольшая ширина раскрытия трещин на наружной поверхности ограждения при его длительной эксплуатации.

При  $E_{\sigma_x}^p > \sigma_p$ ,  $a_t$  определяют без учета арматуры по формуле

$$a_t = (E_{\sigma_x}^p - \sigma_p) l / \Xi,$$

где  $\Xi$  — модуль упругости замерзшего бетона,  $l$  — горизонтальный размер стеновой панели.

Критерий долговечности по глубине трещин

$$K_{гт} = h_n / h_{тх}, \quad (V.25)$$

где  $h_n = 0,1 \delta$  — предельно допустимое ослабление сечения (ограждения при наличии трещины на его наружной поверхности ( $\delta$  — толщина ограждения);  $h_{тх}$  — глубина этой трещины при  $E_{\sigma_x}^p > \sigma_p$ ,

$$h_{тх} = \delta_3 (E_{\sigma}^p - \sigma_p) / (E_{\sigma_x}^p - E_{\sigma_y}^p), \quad (V.26)$$

где  $\delta_3$  — толщина слоя промерзания;  $E_{\sigma_x}^p$ ,  $E_{\sigma_y}^p$  — определенные во времени суммарные наибольшие главные растягивающие напряжения на границах этого слоя.

Из сравниваемых конструкций более долговечной будет та, у которой весь комплекс критериев долговечности имеет более высокие показатели.

Условная долговечность ограждения определяется временем достижения отказа. Если  $K_{от} \geq 1$ , то ограждение имеет «бесконечную» долговечность, т. е. спроектировано неэкономично. Если  $K_{от} < 1$  и хотя бы один из критериев ( $K_{рт}$  или  $K_{гт}$ ) меньше единицы, то ограждение имеет ограниченную долговечность, определяемую по этому критерию с учетом отказа. Если  $K_{рт}$  и  $K_{гт}$  меньше единицы, то по каждому из них с учетом отказа определяют соответствующее значение долговечности и выбирают меньшее из них.

Условную долговечность ограждения  $z_1$  по критерию  $K_{рт}$  определяют из уравнения

$$\frac{a_n}{b} + \frac{\sigma_p}{\Xi} - \frac{E_{\sigma_x}^t}{\Xi} = \frac{E_{\sigma_x}^y(z_1) + E_{\sigma_x}^k(z_1)}{\Xi}, \quad (V.27)$$

где  $E_{\sigma_x}^T$ ,  $E_{\sigma_x}^y$ ,  $E_{\sigma_x}^k$  — соответственно температурные, усадочные и карбанизационные напряжения бетонной ограждающей конструкции.

Значения  $\sigma_p$  и  $\Xi$  из-за деструкции холодного (наружного) слоя ограждения снижаются, а  $E_{\sigma_x}^T$ ,  $E_{\sigma_x}^y$ ,  $E_{\sigma_x}^k$  прямо пропорциональны  $z$ , поэтому левая часть уравнения (V.25) не зависит от времени, а правая содержит только заданные функции соответствующих вынужденных деформаций (температурной  $\epsilon^0_T(z)$ , влажностной  $\epsilon^0_w(z)$  или вызванной усадкой при карбонизации  $\epsilon^0_k(z)$ ).

Для автоклавного ячеистого бетона, например, временной закон развития вынужденных деформаций, вызванных влажностной усадкой, [3]

$$\epsilon^0_w(z) = 50 \cdot 10^{-5} (1 - 0,277e^{-3,744z} - 0,773e^{-0,544z}); \quad (V.28)$$

усадкой при карбонизации

$$\epsilon^0_{k_n}(z) = 51 \cdot 10^{-5} (1 - e^{-0,18z}); \quad \epsilon^0_{k_b} = 38,5 \cdot 10^{-5} (1 - e^{-0,18z}). \quad (V.29)$$

Время  $z_1$  определяют из уравнений (V.27) и (V.28), (V.29). Аналогично по критерию  $K_{гт}$  с учетом зависимостей (V.25), (V.26) по уравнению

$$h_n = \frac{\delta [E_{\sigma_x}^{\text{пред}}(z_1) - \sigma_p]}{E_{\sigma_x}^{\text{пред}}(z_1) - E_{\sigma_x}^{\text{пред}}}, \text{ также содержащему заданные функции.}$$

Напряженно-деформативное состояние однослойных бетонных конструкций в условиях, близких к эксплуатационным, определяют традиционными методами [2] или неразрушающими, например, методом голографической интерферометрии [6].

Прямой метод оценки долговечности С. В. Александровского учитывает особенности поведения наружных ограждающих конструкций из традиционных материалов при циклических воздействиях отрицательной температуры и криогенных фазовых превращений влаги в порах материалов.

Предпосылки метода следующие [5]. Материал ограждения удовлетворяет требованиям морозостойкости. Наружная ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям СНиП 2.03.01-84 и СНиП 11-3-79\*. Известны предполагаемый район строительства и характеристики его климатической активности, влияющие на долговечность ограждения — среднемесячная температура  $\bar{t}_{нм}$ , средняя амплитуда  $\bar{A}_c$  суточных колебаний температуры по месяцам года; среднесуточная температура  $\bar{t}_{нс}$  по дням месяцев года, средние расчетные периоды  $P_p$  устойчивых периодических морозов и оттепелей по отношению к годовому изменению среднемесячной температуры  $\bar{t}_{нм}$  в активные зимне-весенний и летне-осенний периоды года, когда происходят переходы температуры воздуха через  $0^\circ\text{C}$ ; средние расчетные амплитуды  $\bar{A}_p$  этих заморозков и оттепелей в активные периоды года; среднее расчетное число  $m_p$  указанных заморозков и оттепелей в году.

Теплопроводность и температуропроводность материалов ограждения постоянны, а их значения соответствуют массовому отношению влаги, определяемому расчетом (см. гл. IV) или по прил. 3 СНиП II-3-79\*.

Температура начала замерзания, определяемая экспериментально или по справочным данным, принимается независимо от влажности материала. Температура конца оттаивания льда в материале принимается  $0^{\circ}\text{C}$ .

Влажность материала в зоне промерзания ограждения в условиях эксплуатации в зимне-весенний  $\omega^{\text{в}}$ , и летне-осенний  $\omega^{\text{о}}$ , периоды года при расчетах на долговечность принимают соответственно

$$\omega^{\text{в}} = \gamma_0^{\text{min}} \omega / \gamma_0; \quad \omega^{\text{о}} = \omega^{\text{в}} + \Delta\omega_{\text{ср}},$$

где  $\gamma_0$ ,  $\gamma^{\text{min}}$  — соответственно: плотность материала в сухом состоянии расчетная и минимальная из указанных в прил. 3 СНиП II-3-79\* для данного материала и его родственной группы;  $\omega$  — расчетное влагосодержание материала;  $\Delta\omega_{\text{ср}}$  — предельно допустимое его приращение (см. табл. I.15).

Снижение во времени характеристик качества ограждения (прочности, стойкости, теплозащитных свойств) пропорционально степени деструкции материала. Последняя пропорциональна объему предшествующих криогенных фазовых превращений влаги в его порах и зависит от его влажности, числа циклов замораживания и достигаемой в каждом цикле температуры замораживания. За один цикл замораживания она прямо пропорциональна количеству образовавшегося за это время льда. До достижения нормативного снижения прочности материала на сжатие при установлении его проектной марки по морозостойкости это условие сохраняется в каждом цикле. После этого начинается быстрое нелинейное накопление микрповреждений [5]. Имеющийся незначительный резерв долговечности не учитывается.

Долговечность ограждающих конструкций или ее слоя при соблюдении этих предпосылок определяют по формуле [5]

$$z = \frac{N (\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{р}})}{[\omega^{\text{в}} - \omega_{\text{р}}] \sum_{i=1}^y n_i^{\text{в}} \Omega(t_i) + [\omega^{\text{о}} - \omega_{\text{р}}] \sum_{i=1}^y n_i^{\text{о}} \Omega(t_i)}, \quad (\text{V.30})$$

где  $N$  — выдерживаемое материалом ограждения число циклов переменного замораживания при стандартных испытаниях на морозостойкость;  $\omega_{\text{н}}$  — влажность материала, соответствующая его полному водонасыщению [5];  $\omega_{\text{р}}$  — равновесная влажность материала, ниже которой при температуре  $(-20)^{\circ}\text{C}$  лед не образуется, определяемая экспериментально (для ячеистых бетонов 4 %, шунгизитогазобетонов — 2,2 %, керамзитобетонов — 1,8 %, цементно-песчаных растворов — 0,6 % [5];  $\Omega(t_i)$  — коэффициенты, представляющие собой отношение количества замерзшей влаги при температуре  $t_i$  и  $(-20)^{\circ}\text{C}$  в водонасыщенном материале, определяемые экспериментально, а для перечисленных выше материалов — по

данным [5];  $n^B_i$ ,  $n^O_i$  — число случаев  $i$  достижения температуры  $t_i$  в активные зимне-весенний и летне-осенний периоды года при переходе ее через значение температуры начала замерзания  $t_{н.з}$  влаги в порах материала.

В условиях нестационарного температурного поля, как правило, не бывает совпадающих циклов  $n_i$ , а только единственный цикл  $n_i$  в году при данной температуре  $t_i$ . Поэтому  $n^B_i = n^O_i = 1$  цикл в год.

Для установления числа случаев  $i$  и соответствующих им показателей температуры  $t_i$ , при которых находят коэффициенты  $\Omega(t_i)$ , определяют полные нестационарные температурные поля ограждающей конструкции в зимне-весенний и летне-осенний периоды года с учетом характеристик климатической активности района строительства. Для отделочного слоя наружной стеновой панели коэффициенты находят для середины этого слоя, а для самой стеновой панели — для середины слоя ее устойчивого промерзания в зимне-весеннем и летне-осеннем периодах года. Температурное поле однослойного ограждения складывается из квазистационарной составляющей, связанной с линейным в эти периоды годовым изменением среднемесячных значений температуры воздуха  $\bar{t}_{н.м}$  при постоянной температуре внутреннего воздуха  $t_v$  и двух гармонических составляющих, а также с устойчивыми периодическими заморозками и оттепелями со средними расчетными амплитудами  $A_p$ , периодами  $P_p$  и числом  $n$  в году, и составляющей, связанной с суточными колебаниями температуры наружного воздуха со средней амплитудой  $\bar{A}_c$  и периодом  $P=24$  ч.

Квазистационарная составляющая температурного поля однослойной стены толщиной  $\delta$

$$\tau(xz) = Z_1 + Z_3x + Z_5x^2 + Z_6x^3 + (Z_2 + Z_4x)z, \quad (V.31)$$

где  $x$  — координата слоя стены, отсчитываемая от ее наружной поверхности;  $z$  — время, отсчитываемое от середины месяца зимне-весеннего или, соответственно, зимне-осеннего периода, предшествующего началу периодических заморозков с переходом через  $t_{н.з}$ ,  $Z_i$  — постоянные коэффициенты, определяемые по формулам:

$$Z_1 = \eta_1 + \kappa_1/a; \quad Z_2 = \frac{b_\tau}{h_n} (h_n - h); \quad Z_3 = \eta_2 + \kappa_2/a;$$

$$Z_4 = hb_\tau; \quad Z_5 = \eta_2/2a; \quad Z_6 = -hb_\tau/6a,$$

где

$$\eta_1 = \frac{1}{h_n} (\eta_2 + ht_{н.м}); \quad \eta_2 = h(t_n - \bar{t}_{н.м});$$

$$\kappa_1 = \kappa_2/h_n; \quad \kappa_2 = -\frac{b_\tau h\delta}{6h_n h_n} [3(2 + h_n\delta)(h_n - h) - hh_n\delta(3 + h_n\delta)].$$

Причем  $b_\tau$  — скорость линейного изменения среднемесячной температуры наружного воздуха для зимне-весеннего или летне-осеннего периодов года, а

$$h = \frac{h_B h_H}{h_B + h_H + h_B h_H \delta}.$$

Здесь

$$h_B = \alpha_B / \lambda; \quad h_H = \alpha_H / \lambda.$$

Амплитуды колебаний, связанные с устойчивыми периодически-заморозками и оттепелями, с периодом  $P_p$  определяют по формуле

$$A(x) = \frac{h A_p}{h_B} [1 + h_B (\delta - x)].$$

Быстро затухающие амплитуды суточных колебаний температуры в слое стены могут быть определены как амплитуды в полубесконечном слое по формуле [5]

$$A(x) = A_n \exp \left( -x \sqrt{\frac{2\pi}{aP}} \right),$$

где  $A_n$  — амплитуда суточных колебаний температуры на наружной поверхности стены:

$$A_n = A_c / \sqrt{1 + \frac{2}{h_H} \sqrt{\frac{\pi}{aP}} + \frac{2\pi}{h_H^2 aP}}.$$

Таким образом, долговечность наружной стеновой панели рассчитывают по формуле (V.30) при коэффициентах  $\Omega(t_i)$ , найденных для середины слоя устойчивого промерзания в активные периоды года по полному температурному полю этого ограждения.

Глубину устойчивого промерзания однослойной стены в активном периоде года определяют приравниванием  $\theta^\circ\text{C}$  левой части уравнения (V.31). Ее определяют дважды: для начала зимне-весеннего и конца летне-осеннего периодов, затем находят среднеарифметическое этих двух значений [5].

Косвенный метод оценки долговечности, в основу которого положен экономический подход [51], позволяет определить показатель долговечности многослойных конструкций из эффективных материалов, например, ограждений мобильных зданий. При этом определяют срок службы наименее долговечного материала конструкции, которым в большинстве случаев является утеплитель, и по этому времени характеризуют долговечность ограждения в целом. Метод заключается в том, что текущая стоимость конструкции  $C(z_1, z)$  с материалом, претерпевающим деструкцию во времени, рассматривают как функцию двух значений: параметра  $z_1$  — предполагаемой продолжительности доремонтного периода и переменной  $z$ , текущей к  $z_1$ , продолжительности эксплуатации:

$$C(z_1, z) = f(z_1) \psi(z),$$

где  $f(z_1)$  — начальная стоимость конструкции, определяемая с учетом последующих деструкций материала на интервале времени  $z_1$ ;  $\psi(z)$  — монотонно затухающая функция амортизации конструкции,

которую представляют [51] в виде простейшей дробнолинейной функции:

$$\psi(z) = 1 / (1 + K_1 z). \quad (V.32)$$

Коэффициент  $K_1$  в формуле (V.32) определяют скоростью снижения стоимости ограждения во времени, связанную с планируемыми амортизационными отчислениями для здания в целом, характеризующими общий износ конструкции во время эксплуатации с условно неструктурирующимся материалом. Например, этот коэффициент для капитально неремонтируемых мобильных (инвентарных) зданий определяют по формуле

$$K_1 = \frac{1 - (C_n/C_0)}{(C_n/C_0) z_1};$$

где  $C_n$  — ликвидационная или балансовая стоимость ограждения мобильного (инвентарного) здания в конце нормативного срока эксплуатации.

$f(z_1)$  определяют по формуле [51]:  $f(z_1) = K_2 \sigma^2 / (\sigma - b_\sigma z)$ , а общая стоимость конструкции

$$C(z_1, z) = \frac{K_2 \sigma^2}{(\sigma - b_\sigma z)(1 + K_1 z)}, \quad (V.33)$$

При  $z = z_1$  монотонно убывающая функция  $C(z_1, z)$  имеет экстремум при

$$z_1 = (K_1 \sigma - b_\sigma) / 2 b_\sigma K_1, \quad (V.34)$$

который является ее минимумом.

Снижение  $C(z_1, z)$  по зависимости (V.33) допустимо до установленного состояния отказа. Затем используют свойство ремонтпригодности конструкции, что резко повышает ее стоимость. Таким образом, в общем случае ремонтпригодного здания функция  $C(z_1, z)$  имеет несколько экстремумов. Период времени до первого отказа соответствует фактической долговечности неремонтпригодного ограждения или условной долговечности (продолжительности первого доремонтного периода) ограждающей конструкции.

**Пример.** Определить соответствие фактической долговечности трехслойных ограждающих конструкций с утеплителем из фенольно-резольного пенопласта резопен нормативной долговечности для ограждений мобильных (инвентарных) сборно-разборных и контейнерных зданий.

Ликвидационная балансовая стоимость ограждений этих зданий составляет 15 % начальной стоимости. Тогда

$$K_1 = \frac{1 - 0,15}{15 \cdot 0,15} = 0,37 \text{ 1/год для контейнерных зданий};$$

$$K_1 = \frac{1 - 0,15}{20 \cdot 0,15} = 0,28 \text{ 1/год для сборно-разборных.}$$

Долговечность конструкций оценивают при максимальном влагосодержании утеплителя, которое определяют по данным настоящей главы (см. с. 155—157). Потерю прочности утеплителя рассматриваемых конструкций определяют по уравнению типа (V.23)

$$b_\sigma^3 = 2,1 \cdot 10^2 n - 0,39 (\Delta t w) - 2,6 \cdot 10^{-3} (\Delta t w) n,$$

где  $\Delta t$  — максимально возможная удвоенная амплитуда колебаний температуры воздуха при переходе через  $0^\circ\text{C}$ , определяемая по статистическим данным метеорологических служб в районе возможной эксплуатации здания.



Интенсивность снижения прочности материала за один год эксплуатации в качестве утеплителя наружных ограждающих конструкций определяют по формуле  $b_{\sigma} = b_{\sigma}^3 N$ , где  $N$  — число оттепелей или заморозков с переходом через  $0^{\circ}\text{C}$  с нормируемой продолжительностью (например, более 5 сут) за один год в данном районе эксплуатации. Для климатических условий Украины можно принять [27]  $N=6$  циклов в год.

Расчет по формуле (V.32) показывает, что при начальной прочности утеплителя  $\sigma_{сж}=1,29 \cdot 10^5$  Па долговечность рассматриваемых конструкций составляет:

$$\text{для контейнерных зданий } z = \frac{0,37 \cdot 1,29 \cdot 10^5 - 365 \cdot 6}{2 \cdot 365 \cdot 6 \cdot 0,37} \approx 28 \text{ лет};$$

$$\text{для сборно-разборных зданий } z_1 = \frac{0,28 \cdot 1,29 \cdot 10^5 - 365 \cdot 6}{2 \cdot 365 \cdot 6 \cdot 0,28} \approx 28 \text{ лет, где } b_{\sigma}^3 =$$

$365$  Па/цикл, определенная по формуле (V.33) при максимально возможном влагосодержании утеплителя.

Нормативный срок эксплуатации мобильных контейнерных зданий равен 15 годам, а сборно-разборных — 20. Следовательно, по сопротивлению сжатия при 10 %-ной деформации, которое характеризует физическую сохранность утеплителя в конструкции, резопен удовлетворяет требованиям нормативной долговечности.

Косвенный метод оценки долговечности, в основу которого положен экономический подход, удобен для прогнозирования длительности первого периода эксплуатации ремонтпригодной ограждающей конструкции или фактической долговечности неремонтпригодного ограждения. Он применим и для оценки долговечности ограждающей конструкции после определенного числа ремонтов. В этом случае используют следующие рекуррентные формулы:

$$z_1 = (K_1 \sigma_1 - b_{\sigma_1}^3 N) / 2b_{\sigma_1}^3 N K_1;$$

$$z_2 = z_1 + [(K_1 \sigma_2 - b_{\sigma_2}^3 N) / 2b_{\sigma_2}^3 N K_1];$$

$$z_m = z_{m-1} + [(K_1 \sigma_m - b_{\sigma_m}^3 N) / 2b_{\sigma_m}^3 N K_1].$$

Так как в материале накапливаются повреждения, то  $\sigma_m < \sigma_{m-1}$ , а  $b_{\sigma_m}^3 > b_{\sigma_{m-1}}^3$ . Поэтому слагаемое  $[(K_1 \sigma_m - b_{\sigma_m}^3 N) / 2b_{\sigma_m}^3 N K_1]$  с увеличением  $m$  уменьшается и долговечность  $z_m$  становится меньше  $mz_1^m$ .

**Безотказность теплозащиты зданий** оценивают исходя из следующих предпосылок. Для большинства ограждающих конструкций, основное назначение которых состоит в обеспечении теплозащиты здания, один из основных эксплуатационных показателей — приведенное сопротивление теплопередаче этих конструкций. В процессе эксплуатации здания оно может уменьшиться только в результате увеличения теплопроводности утеплителя (нарушения, связанные с грубыми отклонениями от установленных условий эксплуатации не рассматриваются). Поэтому деструкция утеплителя и, как следствие, недопустимое повышение его теплопроводности — это состояние его отказа несмотря на то, что другие элементы ограждающей конструкции можно эксплуатировать еще многие годы. Поэтому показателем безотказности теплозащиты зданий служит теплопроводность утеплителя и его термическое (приведенное) сопротивление. Порядок оценки следующий.

Определяют приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций исследуемого здания, по которому вычисляют приведенную теплопроводность утеплителя конструкции. По результатам испытаний утеплителя на стойкость к климатическим воздействиям оценивают интенсивность повышения  $b_{\lambda}^3$  его теплопроводности по формуле (V.24). По корреляционной зависимости  $\lambda_{z_1}^{np} = \lambda_0^{np} + Nb_{\lambda}^3 z_1$  рассчитывают приведенную теплопроводность утеплителя к окончанию первого доремонтного периода или для неремонтопригодных конструкций — к концу нормативного срока их службы. По найденному значению рассчитывают приведенное сопротивление теплопередаче ограждений здания к окончанию периода  $z_1$  и сравнивают это значение с нормируемыми санитарно-гигиеническими нормами  $R_0^{tp}$ . При  $(R_0^{np})_{z_1} > R_0^{tp}$  здание надежно по теплозащите, а при  $(R_0^{np})_{z_1} < R_0^{tp}$  необходимы мероприятия по повышению его надежности.

**Пример.** Выполнить качественную оценку безотказности теплозащиты трехслойных облегченных ограждающих конструкций с утеплителем из фенольно-резольного пенопласта резопен при их использовании в качестве ограждений мобильных контейнерных зданий.

Приведенное сопротивление теплопередаче усовершенствованных ограждающих конструкций контейнерного здания  $2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ , что соответствует основным нормативным показателям (см. табл. V.2). Приведенная теплопроводность утеплителя ограждений к началу срока службы здания  $0,054 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Интенсивность повышения теплопроводности утеплителя (резопена) при испытаниях его на стойкость к климатическим воздействиям определяют из уравнения типа (V.24).

Приведенная влажность утеплителя в рассматриваемых ограждениях равна 31 % после 90 сут имитации зимнего режима. Подставив это значение в зависимости (V.24), получим, что интенсивность увеличения теплопроводности резопена при температуре  $+20^\circ \text{C}$  после 40 циклов знакопеременных температурных воздействий с амплитудой  $45^\circ$  при указанном значении массового влагосодержания равна  $b_{\lambda}^3 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К} \cdot \text{цикл})$ . Для климатических условий Украины приведенную теплопроводность утеплителя в конце нормативного срока эксплуатации здания определяют по зависимости

$$\lambda_{z_n}^{np} = \lambda_0^{np} + 6b_{\lambda}^3 z_n.$$

По значению  $\lambda_{z_n}^{np}$  рассчитывают приведенное термическое сопротивление, а затем приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, которое равно  $(R_0^{np})_{z_n} = 1,96 \text{ м}^2 \text{ К}/\text{Вт}$ . Требуемое значение сопротивления теплопередаче ограждений этих зданий по санитарно-гигиеническим нормам  $1,93 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ . Следовательно рассматриваемые ограждающие конструкции по качественному единичному показателю безотказности отвечают требованиям надежности по теплозащите в течение нормативного срока службы мобильных контейнерных зданий.

## **VI. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА И ЭКСПЛУАТАЦИИ**

За техническим состоянием наружных ограждающих конструкций после ввода здания в эксплуатацию устанавливают систематическое наблюдение с целью своевременного обнаружения их дефек-

тов. Сохранение теплозащиты зданий и сооружений в течение длительного срока эксплуатации с минимальными затратами возможно при осуществлении системы планово-предупредительных ремонтов.

Все мероприятия по техническому обслуживанию направлены на обеспечение требуемой эксплуатационной надежности здания и его конструктивных элементов. В процессе эксплуатации снижаются тепло- и гидроизоляционные свойства ограждающих конструкций и их стыковых соединений. Основная задача ремонта заключается не в замене конструкций, а в профилактических мероприятиях, дающих возможность предупредить их отказы.

### **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Причины недопустимого снижения уровня теплозащиты наружных ограждающих конструкций подразделяются на три группы: неверное проектное решение, некачественное возведение, неправильная эксплуатация.

Основные ошибки при проектировании наружных ограждающих конструкций: толщина ограждения или его теплоизолирующего слоя выбрана недостаточной; неправильный выбор расчетных величин (теплопроводности — без учета условий эксплуатации конструкций в зависимости от влажностного режима помещений и зон влажности), а также влияния плотности материала, теплоусвоения — без учета вышеприведенных факторов, расчетной температуры наружного воздуха (без учета тепловой инерции ограждения); неправильная оценка термической неоднородности конструкции, и, как следствие, ошибочное определение ее теплоизоляционных качеств, неверный расчет приведенного сопротивления теплопередаче; неудовлетворительное (по температурному режиму) конструктивное решение теплопроводных включений (ребер жесткости, обрамлений) ограждающих конструкций; недостаточная герметизация стыков и наружных поверхностей ограждений; неправильный выбор вида пароизоляционного слоя или неправильное его размещение; неправильная ориентация здания.

Некачественное изготовление ограждающих конструкций на домостроительных заводах и комбинатах и возведение их на строительных площадках, приводящие к снижению уровня теплозащиты здания, вызваны следующими причинами: превышением проектной плотности материала ограждения или его теплоизолирующего слоя, что обуславливает его большую теплопроводность, а следовательно, снижает по сравнению с проектом теплозащиту здания; установкой в ограждающую конструкцию влажного теплоизолирующего материала; изготовлением теплоизолирующих прокладок из влажных материалов; некачественной установкой теплоизоляционного слоя в конструкции (неполное заполнение, неплотное прилегание к ребрам жесткости); заменой проектного решения утеплителя другим, более доступным в момент изготовления конструкций, но с большей теплопроводностью; некачественной герметизацией

стыковых соединений (произвольная замена герметизирующего материала, неустановка всех предусмотренных проектом герметизирующих элементов), некачественным выполнением водозащитных и пароизоляционных слоев ограждающих конструкций, некачественной гидроизоляцией фундамента и стен подвалов.

Эксплуатационные причины снижения теплозащиты здания: неисправное состояние устройств отвода атмосферных и талых вод; несвоевременное возобновление влаго- и пароизоляционных элементов ограждающих конструкций; размещение влажных материалов вблизи ограждений здания или размещение оборудования, затрудняющего циркуляцию воздуха у поверхностей ограждающих конструкций.

Причины снижения уровня теплозащиты зданий выявляются натурно-инструментальными обследованиями (см. гл. V), в результате которых оценивают степень несоответствия реальных теплозащитных качеств ограждающих конструкций требуемым по санитарно-гигиеническим и экономическим условиям (см. гл. I) и разрабатывают мероприятия по обеспечению необходимого уровня теплозащиты. Ошибки эксплуатации обнаруживаются при общем осмотре здания.

При восстановлении теплозащиты здания осуществляют организованную сушку ограждающих конструкций, или устанавливают дополнительную теплоизоляцию, либо применяют оба восстановительных метода.

**Методы сушки ограждающих конструкций:** сушка подогретым воздухом, электропрогрев, радиационная, эксфильтрационная, током высокой частоты, вакуум-сушка, электроосмотическая.

*Сушка подогретым воздухом* включает в себя повышение температуры внутреннего воздуха помещений на 5...10 °С выше нормируемой (см. табл. I.3...I.9) с помощью калориферов: электрических, огневых, водяных, паровых, которые расставляют равномерно по площади помещения. Сушку начинают с верхнего этажа. В процессе ее контролируют изменение влажности материалов ограждающих конструкций здания (см. гл. V).

*Сушка электропрогревом* — путем присоединения к конструкции электродов и включения ее участка между электродами в электрическую цепь. Для прогрева применяют двух- или трехфазный ток нормальной частоты напряжением 65...110 В. Электроды применяют закрытые — в виде проволоки, замоноличенной под штукатуркой, или открытые — в виде металлических пластин размером 8...12 см, укрепляемых на поверхности стены. При включении электродов запрещается пребывание посторонних людей в рабочей зоне. Обслуживающий персонал должен быть снабжен резиновыми галошами и перчатками. В помещении постоянно дежурит электрик в течение всего периода сушки.

*Радиационная сушка* заключается в обогреве ограждающей конструкции путем лучистого теплообмена между ее внутренней поверхностью и радиаторами (калориферами). Для этого равномерно по всей площади ограждения устанавливают радиаторы (напри-

мер, электрические) в непосредственной близости от его поверхности (в 3...4 ряда по высоте помещения при сушке стен).

Для удаления испаряющейся из ограждающих конструкций влаги в помещениях устраивают сквозное проветривание или приточно-вытяжную вентиляцию. При этом следует учитывать, что неорганизованный приток воздуха (сквозное проветривание, вытяжная вентиляция) вызывают в холодный период года охлаждение помещения.

*Эксфильтрационная сушка* заключается в создании условий для эксфильтрации подогретого воздуха через ограждающие конструкции. Подогревают воздух помещений с помощью описанных выше устройств (см. сушку подогретым воздухом). В помещении плотно закрывают щели и неплотности в оконных и дверных проемах, а затем создают избыточное давление с помощью установок, используемых при испытаниях воздухопроницаемости ограждающих конструкций по ГОСТ 25891—83.

*Сушку током высокой частоты* организуют аналогично описанному методу прогрева, но пропускают при этом через участок конструкции токи высокой частоты. Недостаток способа — большой расход электроэнергии.

*Вакуум-сушка* заключается в отсасывании влаги с поверхностных слоев ограждающей конструкции путем создания разряжения в камере, присоединенной к ее поверхности. Оборудование для вакуум-сушки состоит из вакуум-щита, вакуум-насоса с ресивером, стальных труб и резиновых шлангов. В вакуум-щите создают разряжение до  $10^5$  Па. Эффективность вакуум-сушки повышают, сочетая ее с радиационной сушкой, размещая в вакуум-щите дополнительную излучающую нагревательную поверхность, например, в виде цилиндрической электропечи.

*Электроосмотическая сушка* заключается в переносе жидкости в толще стены при наложении электрического поля с помощью гальванических элементов, создаваемых непосредственно в теле влажной стены. Применяется для кирпичных стен зданий и сооружений. Подразделяется на активную и пассивную. Активное осушение осуществляют с помощью наложенного тока. Применяют медные, железные и угольные электроды, состоящие из основы и активной массы (деполяризатора).

В медных электродах в качестве основы используют медный штырь диаметром не менее 4 мм, а в качестве активной массы — смесь медного купороса (70...80 %), графита серебристого (15...20 %), сажи ацетатной (3...5 %), соды ( $\sim 5$  %), цинковой пыли (1...2 %), древесного активированного угля ( $\sim 5$  %).

В жидких электродах основа — стальной штырь диаметром не менее 4 мм, активная масса — смесь железного купороса (70...80 %) и перечисленных для медных электродов (кроме медного купороса) компонентов в тех же соотношениях.

В угольных электродах основа — графитный стержень диаметром 6...10 мм, очищенный от медной фольги, активная масса — смесь марганцевой руды (20...30 %), активизированного пиролюзи-

та (30...60 %) и перечисленных для медных электродов (кроме медного купороса) компонентов в тех же отношениях [55].

Угольный и медный (стальной) электроды хранят отдельно. В качестве отрицательного (активного) электрода используют протекторы типа МГА-1...МГА-8, выпускаемые промышленностью для защиты от коррозии подземных металлических сооружений.

Подготовительные работы включают сверление отверстий в стенах для установки медных (стальных) и угольных электродов, рытье приямков для установки протекторов. Для просверливания отверстий используют перовые и спиральные сверла, оснащенные пластинками из твердых сплавов. Для сверления отверстий диаметром 25...60 мм и глубиной до 75 см применяют также механический шлямбур, состоящий из пустотелой штанги с окнами и шлямбурной колонки. С помощью резьбового соединения штанга соединяется с коронкой, а другим концом через переходный хвостовик — со шпинделем электросверлилки. Режущие зубья коронки оснащены пластинками твердого сплава ВК-6 или ВК-2. Штангу и коронку изготавливают из стандартных труб.

Электроды устанавливают с шагом 0,5...1 м [55]. Медные (стальные) соединяют между собой с помощью горизонтальных медных изолированных проводов диаметром 1...2 мм методом скрутки с последующей пропайкой соединений и надежной их изоляцией лакокрасочными составами или битумным лаком. Подобным образом соединяют между собой угольные электроды, но диаметр проволоки при этом не должен превышать 0,5 мм. Проводники горизонтальной связи кладут под слоем штукатурки или в стальных водопроводных трубах. Подключают протектор к электродам с помощью вертикального проводника связи. Проходы через междуэтажное (надподвальное) перекрытие выполняют в эбонитовой трубе.

Для наблюдения и контроля исправности и эффективности работы системы провод вертикальной связи вводят в контрольное устройство — простейший размыкатель цепи, устанавливаемый в помещении. Максимальный положительный потенциал от источника постоянного тока подают в верхнюю часть стены на электроды, отрицательный полюс генератора подключают к протектору, что усиливает поток влаги сверху вниз. При этом методе затраты составляют около 1,5 р. на 1 м<sup>2</sup> осушаемой поверхности [16].

При активном электроосмотическом осушении напряжение, подаваемое на стену, не превышает 40...60 В, сила тока — 3...5 А. Продолжительность сушки — 2...3 недели, после чего источник отключают и установка превращается в пассивную.

**Методы установки дополнительного теплоизоляционного слоя.** Метод утепления стен армированной штукатуркой по слою пенополистирола заключается в повышении теплозащиты и водонепроницаемости наружной поверхности стен с помощью штукатурки по подстилающему слою пенополистирола [8]. Последний служит основанием для нанесения штукатурки, его толщина определяется из анализа результатов инструментальных исследований здания

(см. гл. V) и расчетов требуемого сопротивления теплопередаче ограждения (см. гл. I), но во всех случаях должна быть не менее 2 см.

Штукатурный слой — это элемент отделки и защиты стены от атмосферных воздействий. Армируют штукатурку сеткой во избежание трещин в фактурном слое.

Порядок производства работ следующий — подготовительные работы, устройство гнезд и забивка в них анкерных штырей, наклеивка листов пенополистирола, навеска конструктивных сеток, штукатурной толщиной 0,8...1 мм, оштукатуривание, устройство металлических фартуков и отливов.

В процессе подготовительных работ изготавливают конструктивные сетки и анкерные штыри, устанавливают подмости, снимают существующие отливы и фартуки. Конструктивные сетки размером ячеек 30×30 см изготавливают из стальных арматурных стержней диаметром 4,5 мм. Для придания жесткости сеткам применяют несущий каркас, состоящий из верхнего горизонтального стержня диаметром 10 мм, нижнего горизонтального и вертикальных стержней диаметрами по 8 мм, размещаемых через каждый метр. Сетки устанавливают как самостоятельные сборные элементы внахлестку.

При применении сборных сеток стержни основной сетки диаметром 4,5 мм соединяют с помощью сварки давлением, а каркас жесткости из стержней диаметром 10 и 8 мм — обычной сваркой. Сетку приваривают по контуру каркаса. Ширина ее около 3 м, а высота соответствует высоте этажа. Если сетки изготавливают непосредственно на предохраняемой стене, то стержни диаметром 4,5 мм, соединенные с помощью электросварки, прикрепляют к стержням каркаса вязальной проволокой. Все вертикальные стержни крепят к верхнему стержню каркаса диаметром 10 мм с помощью крюкообразных загибов.

Анкерные штыри, предназначенные для навески конструктивных сеток, изготавливают из крупных стальных арматурных стержней нормативным сопротивлением  $36 \cdot 10^7$  Па и гарантируемой свариваемостью. Длина штыря не менее 10 см. К торцу каждого штыря приваривают захват из стержня диаметром 8 мм длиной около 6 см, исключающий возможность срыва подвешенной конструктивной сетки. Штыри с привариваемыми захватами оцинковывают во избежание коррозии.

Подготовка поверхности стены заключается в удалении отслоившихся кусков штукатурки, не связанных с основанием, и оштукатуривании этих мест с целью получения ровной поверхности для укладки слоя пенополистирола.

Гнезда для анкерных штырей высверливают диаметром около 30 мм и длиной не менее 10 см с шагом около 1 м так, чтобы на каждом этаже штыри располагались на одной линии.

Анкеры укрепляют в гнездах цементным раствором состава 1 : 3. Непосредственно перед вставкой анкера гнездо очищают от пыли, смачивают водой и заполняют раствором. Вставляют анкер

на требуемую глубину, уплотняют раствор вокруг штыря, удаляют его излишки, затирают кельмой заподлицо со стеной.

Для приклеивания пенополистирола используют цементный раствор с добавкой поливинилацетата. В цементное тесто состава 1 : 1 крупностью песка не более 1 мм добавляют 50 %-ную эмульсию поливинилацетата в количестве 10 % массы цемента. При этом раствор должен иметь текучую консистенцию. Оклеивание стен заключается в нанесении приготовленного раствора на листы пенополистирола слоем толщиной 1,5 мм и в плотном прижатии их к защищаемой поверхности. Работы осуществляют в сухую погоду при температуре воздуха выше 5 °С.

Приклеивают пенополистирол также с использованием горячих битумных мастик температурой размягчения 70...85 °С. При этом подготовленную поверхность листов грунтуют битумными растворами. После высыхания грунтовочного слоя приступают к наклеиванию. Мастику, нагретую до температуры примерно 180 °С, наносят на стену толщиной около 2 мм на участках, соответствующих размерам пенополистирольных листов. Работы осуществляют в сухую погоду при температуре воздуха выше 12 °С. Оклеивать стены пенополистиролом начинают с верхнего этажа, при этом следят за тем, чтобы кромки соседних листов плотно примыкали друг к другу по всей длине стыка.

Сборные конструктивные сетки навешивают на анкерные штыри горизонтальными рядами, начиная с верхнего этажа. Свободные концы горизонтальных стержней (диаметрами 10 и 4,5 мм) соседних сеток каждого ряда соединяют между собой внахлестку с помощью вязальной проволоки. Соединяют сетки смежных этажей на глухих стенах путем анкеровки крайних горизонтальных стержней в захватах анкерных штырей и скрепления их вязальной проволокой.

Арматурную сетку располагают так, чтобы она была хорошо натянута, без волн и выпучиваний. Смежные пояса сетки навешивают с нахлесткой 3...5 см. Оштукатуривают защищенные стены обычным или механизированным способом. Штукатурку наносят в три слоя: цементная штукатурка толщиной около 1—5 см; наброс известково-цементной штукатурки 1 : 1 : 6 или 1 : 1 : 18 толщиной около 1 см; известково-цементный накрывочный слой или фактурная обработка набрызгом толщиной около 0,5 см.

Приведенный метод следует применять при недостаточных теплозащите и водонепроницаемости наружных стен. Благодаря прикреплению арматуры к стене, при применении этого метода не предъявляют специальных требований к ее поверхности, поэтому его можно применять на слабых поверхностях при тенденции к повсеместному шелушению, а также потрескавшихся наружных фактурных слоях трехслойных стен из традиционных материалов. Однако этот метод, как и описанные ниже, нельзя применять для стен, в которых структурные изменения материала или другие повреждения носят прогрессирующий характер и ведут к снижению несущей способности.



*Метод утепления стен легким пластмассовым покрытием по дою пенополистирола [8]* заключается в нанесении на наружные поверхности стен непрерывного бесшовного покрытия, состоящего из слоев клеящей массы, пенополистирола, сетки из стекловолокна, утопленной в клеящую массу, наружного фактурного слоя.

Оболочка из клеящей массы образует основание для наклейки на поверхность стены слоя утеплителя из пенополистирола, толщину которого устанавливают в результате анализа результатов инструментальных исследований здания (см. гл. V) и расчетов требуемого сопротивления теплопередаче ограждения (см. гл. I).

Сетка из стекловолокна выполняет функции арматуры, воспринимающей температурные напряжения в тонком фактурном слое, нанесенном на пенополистирол. Этот слой должен защищать стену от атмосферной влаги, а также придавать фасаду соответствующий цветовой колорит. Работы выполняют в такой последовательности: подготовительные работы, наклейка пенополистирола, наклейка сетки из стекловолокна, нанесение слоя цветной пластмассы, устройство новых металлических отливов и фартуков.

Подготовительные работы включают в себя монтаж подмостей, снятие существующих металлических отливов и фартуков, удаление краски с фасада, сбивание отслоившихся кусков наружной штукатурки, тщательную очистку поверхности металлическими щетками и обдувание ее сжатым воздухом. Все дефекты и неровности поверхности стен и откосов заделывают цементным раствором состава 1 : 1 с добавкой поливинилацетатной эмульсии в количестве 10 % массы цемента, способствующей повышению сцепления раствора со стеной. Допустимые неровности подготовленной поверхности должны не превышать  $\pm 5$  мм.

Для приклеивания листов пенополистирола используют клеящую массу, представляющую собой смесь латексного клея и шлакопортландцемента М250 в соотношении 1 : 1...1 : 2,5 (в зависимости от густоты клея). Массу тщательно перемешивают, в клей добавляют такое количество цемента, чтобы распределение массы по основанию стены и пенополистироловому листу не вызывало трудностей. При этом количество цемента не должно превышать количества клея более чем в 2,5 раза. Смесь готовят небольшими порциями, чтобы ее можно было использовать в течение часа (до начала схватывания цемента).

Клеящую массу наносят на подготовленное основание ровным слоем толщиной около 1 мм с помощью широкозубчатого шпателя или мелкозубчатой терки. Листы пенополистирола слегка перемещают по стене в направлении соседних, уже приклеенных до выдавливания клеящей массы через швы. Выдавленный клей слегка распределяют по поверхности листов вдоль швов, чтобы избежать образования сгустков и подтеков. Через 8...10 мин пенополистирольный лист сильно прижимают к основанию на несколько секунд, чтобы он хорошо приклеился. Работы начинают от низа здания на всю ширину стены.

Сетка из стекловолокна наклеивают с помощью той же массы.

Ее распределяют по поверхности пенополистирола толщиной 1 мм, затем растягивают стекловолоконную сетку, которую плотно прижимают к клеящему слою на пенополистироле. Сетка должна быть без волн выпучиваний. Ее смежные полосы размещают с нахлесткой около 5 см.

Фактурный слой наносят не ранее, чем через два дня после наклеивания стекловолоконной сетки. Для его устройства используют волокнистый раствор — слой цветной пластмассы с целлюлозным наполнителем на поливинилацетатном вяжущем. Для нанесения поливинилацетатного слоя и получения бесштукатурного отделочного применяют следующий состав:

3 ч (по массе) волокнистого раствора (цветной пластмассы на целлюлозном наполнителе) полутекучей консистенции (осадка конуса 8...9 см); 1 ч белого или обычного портландцемента; вода в количестве, необходимом для получения рабочей полутекучей консистенции (осадка конуса 9 см). Приготовленную смесь следует использовать в течение 2 ч.

Наружный слой цветной пластмассы наносят методом механического распыления в два слоя общей толщиной 3...5 мм. Первый слой волокнистого раствора должен покрыть все неровности основания. Второй наносят после полного высыхания предыдущего, но не ранее чем через сутки. Слой цветной пластмассы наносят на всю поверхность стены. Полученный фактурный слой затирают металлической теркой или оставляют без обработки. При добавлении в раствор пигменты разнообразят цвет стен. Работы выполняют при отсутствии атмосферных осадков и температуре воздуха выше 10 °С.

*Метод утепления стен слоем штукатурки по минераловатным плитам или матам* — нанесение на наружную поверхность стен слоя штукатурки по подстилающему слою (из минераловатных плит или матов).

Минераловатные плиты (маты) прошивные (ГОСТ 21880—76) или на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—82), а также плиты полужесткие или жесткие на синтетическом связующем (ГОСТ 9573—82) служат основанием для нанесения штукатурки, их толщину определяют при анализе результатов инструментальных исследований здания (см. гл. V) и расчетов требуемого сопротивления теплопередаче его ограждающих конструкций (см. гл. I). Штукатурный слой — элемент отделки и гидроизоляции стен. Последовательность выполнения работ следующая.

В поверхность стены вводят крепежные детали из нержавеющей стали. Минераловатные плиты или маты насаживают на них таким образом, чтобы они прошли насквозь и вата плотно была прижата к поверхности стены. Крепежные детали закрепляют блокирующими пластинами.

На наружную поверхность минераловатных плит или матов устанавливают арматурный слой из стальной сетки горячей оцинковки. Наносят штукатурный слой путем трехслойного торкретирования (см. с. 197—198).

Т а б л и ц а VI.1. Составы и свойства теплозвукоизоляционных

| Содержание компонентов в штукатурном растворе, % по массе |                   |             |      |               |                          |                   |
|-----------------------------------------------------------|-------------------|-------------|------|---------------|--------------------------|-------------------|
| Портландцемент марки 350                                  | Гипс строительный | Перлит М100 | ГЦПВ | Стекловолокно | ПВАЭ (концентрация 50 %) | ГКЖ-94 или ПКЖ-11 |
| 65                                                        | —                 | 25          | —    | 7             | 3                        | —                 |
| 68                                                        | —                 | 22          | —    | 7             | 2,5                      | 0,5               |
| 66                                                        | —                 | 24          | —    | 7             | 2,5                      | 0,5               |
| 64                                                        | —                 | 28          | —    | 5             | 2,5                      | 0,5               |
| 60                                                        | —                 | 30          | —    | 7             | 2,5                      | 0,5               |
| 50                                                        | —                 | 40          | —    | 7             | 2,5                      | 0,5               |
| —                                                         | 72                | 20          | —    | 5             | 2,5                      | 0,5               |
| —                                                         | 65                | 25          | —    | 6             | 3                        | 1                 |
| —                                                         | 60                | 30          | —    | 6             | 3                        | 1                 |
| —                                                         | —                 | 25          | 65   | 7             | 2,5                      | 0,5               |

Метод утепления стен теплоизоляционными штукатурками на основе вспученного перлита заключается в нанесении на внутреннюю поверхность ограждающих конструкций дополнительного теплоизоляционного штукатурного слоя (табл. VI.1).

Цементно-перлитовая штукатурка состава: цемент (60...50 % по массе), перлитовый песок (30...40 %), стекловолокно (7 %), ПВА (2,5 %), ТКЖ-94 (0,5 %) — имеет плотность 350...300 кг/м<sup>3</sup>, сопротивление сжатию  $2 \times 10^6$  Па, изгибу —  $10^6$  Па, теплопроводность в сухом состоянии — 0,06...0,05 Вт/(м·К), в условиях эксплуатации — 0,13...0,14 Вт/(м·К). При нанесении ее на ограждающую конструкцию из керамзитобетона плотностью 1150 кг/м<sup>3</sup>, толщиной 300 мм увеличивается термическое сопротивление ограждения на 11...12 %.

Перлитобазальтоцементные штукатурки изготовляют из следующих компонентов: базальтовое волокно (8,3 %), рядовой вспученный перлит (33,2 %), портландцемент М500 (58,5 %). Плотность штукатурки 350...400 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность в сухом состоянии 0,08 Вт/(м·К). Нанесение слоя портландцементной штукатурки приведенного состава 20 мм на кладку из керамических панелей с 18 пустотами толщиной 1,5 камня и размерами камня 250×138×120 мм, пустотностью 27 %, плотностью камней брутто 1150 кг/м<sup>3</sup>, плотностью кладки 1540 кг/м<sup>3</sup> повышает термическое сопротивление ограждающей конструкции на 35 %.

Порядок выполнения работ [28]: подготовка поверхности под штукатурку, установка маяков, нанесение штукатурного слоя (обрызга и грунта), выравнивание штукатурного слоя, нанесение накрывочного слоя и его отделки.

Подготовка поверхности включает очистку от пыли роковой кистью или промышленным пылесосом; удаление наплывов отвердевшего раствора; заделка раствором углублений, выбоин, отверстий с разравниванием раствора заподлицо с поверхностью стены, насечка бетонной поверхности; увлажнение водой из расчета 0,5...2,5 л/м<sup>2</sup>.

# штукатурок на основе вспученного перлита

| Физико-технические свойства раствора |                                 |                 |                       |                      |                                                |
|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------------------|
| Плотность<br>кг/м³                   | Прочность $\times 10^{-6}$ , Па |                 | Звукопоглощение,<br>% | Водопо-<br>глощение, | Прочность сцепле-<br>ния $\times 10^{-6}$ , Па |
|                                      | при сжа-<br>тии                 | при изги-<br>бе |                       |                      |                                                |
| 410                                  | 1,3                             | 1,9             | 33...70               | 60                   | 0,6                                            |
| 450                                  | 1,8                             | 3               | 30...60               | 9                    | 0,6                                            |
| 430                                  | 1,5                             | 2,5             | 35...68               | 9                    | 0,55                                           |
| 400                                  | 0,8                             | 2,1             | 40...75               | 11                   | 0,5                                            |
| 350                                  | 0,5                             | 1,5             | 44...85               | 12                   | 0,4                                            |
| 300                                  | 0,3                             | 1               | 50...94               | 14                   | 0,3                                            |
| 530                                  | 1,2                             | 2               | 32...57               | 20                   | 0,6                                            |
| 380                                  | 0,5                             | 1,3             | 38...65               | 21                   | 0,3                                            |
| 290                                  | 0,3                             | 0,9             | 40...78               | 22                   | 0,2                                            |
| 400                                  | 1,2                             | 2               | 38...74               | 13                   | 0,5                                            |

Штукатурные растворы готовят в лопастной растворомешалке. Загружают материалы объемно порционно в такой последовательности: перлит, 3/4 части воды затворения с указанными добавками, цемент. После перемешивания добавляют оставшуюся часть воды до необходимой подвижности растворной смеси. Время перемешивания 3...5 мин.

При централизованном приготовлении сухих товарных штукатурок на основе вспученного перлита вяжущее и вспученный перлитовый песок смешивают в заводских условиях в смесителях принудительного перемешивания непрерывного или периодического действия.

Сухую штукатурную смесь поставляют в установках или емкостях, не допускающих ее распыления, загрузки и увлажнения. Затворяют и гомогенизируют сухие штукатурные смеси на объекте, используя лопастные растворомешалки. Добавки вводят с водой затворения. В зависимости от толщины штукатурки, определяемой на основании анализа результатов инструментальных исследований и расчетов требуемого сопротивления теплопередаче, штукатурку наносят в один или несколько приемов, каждый последующий слой — после частичного схватывания предыдущего. Нанесенный слой разравнивают и уплотняют.

Для обрызга применяют растворную смесь, которая обеспечивает заполнение неровностей основания (подвижность по стандартному конусу СтройЦНИЛ 8...12 см при нанесении вручную и 6...10 механизированном). Грунт выполняют из более густой смеси, образующей основной слой штукатурки (подвижность 8...10 см при нанесении вручную и 6...8 — механизированном).

Для накрывки используют смесь подвижностью 8...10 см, что позволяет хорошо выравнивать грунт, легко заглаживать и затирать поверхность штукатурки.

При выполнении накрывочного слоя в декоративных целях используют перлит определенной фракции (0,6...1,2; 1,2...2,5; 2,5...5 мм) и вяжущие из портландцемента с добавлением щелочестой-

ких пигментов, извести-пушонки, теста или белой каменной муки, а также белых и цветных цементов. При этом штукатурке придают различную фактуру: терразитовую под набрызг, шубу или бучарду.

*Метод утепления ограждающих конструкций двухслойными металлическими панелями* заключается в навешивании на определенном расстоянии от наружной поверхности ограждения легких панелей с пенополиуретановым утеплителем (монопанелей типа ПК 60-60) [64]. В результате образуется комплексная конструкция с вентилируемой воздушной прослойкой, входное и выходное отверстия которой устраивают так, чтобы вентилировать ограждение только при положительной температуре наружного воздуха. Уровень теплозащиты такого комплексного ограждения регулируемый: в зимний период его сопротивление теплопередаче увеличивается, в летний уменьшается. При вентиляции прослойки из ограждения удаляется влага, что дополнительно улучшает его теплозащитные качества, увеличивает долговечность ограждения, его надежность.

*Дополнительно утепляют бесчердачные покрытия* в два этапа. Первый — осушение существующего теплоизоляционного слоя, второй — изготовление дополнительного.

В вентилируемых бесчердачных покрытиях осушения достигают, увеличивая интенсивность проветривания, для чего в покрытии устраивают дополнительные вентиляционные отверстия, а также устанавливая на крыше вентиляционные трубы, увеличивающие воздухообмен.

Сплошные бесчердачные покрытия для осушения переоборудуют в вентилируемые. Для этого в них устраивают узкие каналы (шириной до 10 см), проходящие через слои теплоизоляции на расстоянии 3 м друг от друга. Такие каналы, прикрытые с наружной стороны металлическими листами или асбестоцементными плитами, проветривают с помощью вентиляционных труб диаметром 50 мм. Толщину дополнительного теплоизоляционного слоя устанавливают на основании анализа результатов натурно-инструментальных исследований и расчетов требуемого сопротивления теплопередаче покрытия.

Дополнительный теплоизоляционный слой устанавливают следующим образом. К существующему кровельному покрытию приклеивают плиты пенополистирола с помощью горячей битумной мастики без наполнителя. Той же мастикой к пенополистиролу приклеивают жесткие древесноволокнистые плиты размером 1,2 × 1,2 м. Применение более крупных плит может вызвать их деформацию и повышенную воздухопроницаемость покрытия. На изготовленном основании устраивают кровельное покрытие.

При использовании минераловатного утеплителя следует применять плиты из минеральной ваты плотностью 200 кг/м<sup>3</sup>. Их приклеивают битумной мастикой, той же мастикой грунтуют наружную поверхность, на которую кладут кровельное покрытие.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕРМЕТИЗАЦИИ СТЫКОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Работы включают перегерметизацию стыковочных соединений панелей стен и покрытий, а также стыков оконных, дверных проемов, водоотводов, труб.

Перегерметизация стыковочных соединений панелей состоит из подготовительных и основных работ. Подготовительные включают расчистку шва от старого материала, рыхлого раствора, продувку поверхности, просушку полости и устья стыка. Основные заключаются в устройстве новой заделки полости и устья стыка. Расчищают швы электропневмомолотком или молотком, удаляя при этом на глубину до 50 мм цементно-песчаное или иное заполнение. Специальным крючком удаляют материал подосновы, если он находится в неудовлетворительном состоянии, поверхность стыка тщательно очищают и продувают сжатым воздухом. Для предохранения от атмосферных осадков при ремонте желательно проводить гидрофобизацию стыков водными растворами кремния органических жидкостей ГКЖ-10—3 %-й концентрации, ГКЖ-11 — 5- или 10 %-ным раствором мылонафта, который наносят кистями из краскопультов при давлении не более 1 атм в сухую погоду при положительной температуре. Мастики нагнетают в полость стыка через 24 ч после гидрофобизации на глубину 50 мм слоем шириной не менее 20 мм.

При ширине шва менее 6 мм зазор расширяют путем скалывания кромок панелей, а более 20 мм — мастики армируют уплотняющими прокладками [53]. Мasticный валик не должен иметь разрывов или наплывов, для чего неотстывшую мастику выравнивают лопаткой, исключая пустоты и обеспечивая плотное прилегание к стыкуемым поверхностям. Для обеспечения длительной герметичности стыка толщина слоя мастики должна быть 20...30 мм.

Перегерметизируют стыковые соединения с помощью герметизирующих и уплотняющих материалов, которые по ГОСТ 25621—82 подразделяют на водо-, воздухозащитные и водовоздухозащитные.

Герметизирующие и уплотняющие материалы подразделяют по упругим свойствам (пластичные, эластичные и пластоэластичные) и по виду (мастики и погонажные изделия).

Мастики классифицируют по следующим признакам: характеру перехода в рабочее состояние (отверждающиеся, неотверждающиеся, высыхающие), полимерной основе (тиоколовые, полиуретановые, полиизобутиленовые, этиленпропиленовые, акрилатные и на других основах), количеству компонентов при поставке (одно- и многокомпонентные).

Погонажные изделия классифицируют по форме поперечного сечения (ленты, прокладки прямоугольного, круглого и овального сечений, профили специальных конфигураций), структуре (плотные и пористые), полимерной основе (полиуретановые, полиэтиленовые, бутилкаучуковые, поливинилхлоридные и на других полимерных основах), способу установки (устанавливаемые наглухо, приклеиваемые специальными составами, самоклеящиеся).

Перегерметизируют стыки и без расчистки устья от цементно-песчаного раствора, применяя оклеечную герметизацию.

**Герметизация стыков нетвердеющими мастиками** (ориентировочная стоимость 250...400 р. за 1 т) заключается в качественном нанесении слоя мастики в подготовленный зазор между панелями наружных ограждающих конструкций. Работы выполняют при отсутствии атмосферных осадков и температуре наружного воздуха выше  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Нетвердеющие мастики представляют собой вязкую гидрофобную массу, не теряющую пластичности на протяжении нескольких лет с момента ее изготовления.

**Мастика герметизирующая нетвердеющая строительная** (ГОСТ 14791—79). Изготавливают на основе высокомолекулярного полиизобутилена, этиленпропилена, изопренового и бутилового каучука с добавлением минерального масла и наполнителя (мел, мрамор, известняк) толщиной помола 60 мкм. Поставляют в деревянных ящиках со съёмными крышками и ручками массой брутто одного ящика до 70 кг, в деревянных бочках и металлических барабанах со съёмными крышками массой брутто до 100 кг, в стеклопластиковых и полиэтиленовых ампулах. Мастика сохраняет свойства, при  $t = -50^{\circ}\text{C}$ . Ориентировочная стоимость мастики 250...400 р. за 1 т.

Показатели мастики:

|                                                                      |                                          |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Предел прочности при растяжении                                      | $1,5 \times 10^2 \dots 8 \times 10^3$ Па |
| Относительное удлинение (в момент наибольшего растягивающего усилия) | 35...45 %                                |
| Водопоглощение не более                                              | 0,2...0,4 %                              |
| Консистенция                                                         | 7...11 мм                                |
| Теплостойкость                                                       | $70^{\circ}\text{C}$                     |
| Плотность                                                            | 1100...1500 кг/м <sup>3</sup>            |
| Цвет                                                                 | От светло-серого до коричневого          |

Для нагнетания мастик в стыки используют пневматические шприцы, состоящие из гильзы с поршнем, пневмокамеры, имеющие диафрагму, торцевые крышки, тяги, рукоятки, поворотом которых в шприц подается сжатый воздух, и сменные наконечники.

**Мастика МБС** (ТУ 38-3069-73) создана на основе бутилкаучука и бутадиен-стирольного каучука. Готовую мастику расфасовывают по 50 кг в деревянные ящики или полиэтиленовые мешки. При использовании электрогерметизаторов (см. ниже) мастику поставляют в виде брикетов  $3 \times 5$  см длиной около 40 см, заключенных в оболочку из полиэтиленовой пленки толщиной 30...60 мкм и уложенных в деревянные ящики.

Показатели мастик Бутэпрол и МБС:

|                                                                      |                              |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Предел прочности при разрыве                                         | $(5 \dots 7) \times 10^3$ Па |
| Относительное удлинение (в момент наибольшего растягивающего усилия) | 40 %                         |
| Водопоглощение                                                       | 0,5...0,8 %                  |
| Теплостойкость                                                       | $70^{\circ}\text{C}$         |
| Плотность                                                            | 1508 кг/м <sup>3</sup>       |

Ориентировочная стоимость мастики МБС 400 р. за 1 т.

*Мастика герметизирующая нетвердеющая Бутэпрол-2М* (ТУ 21-29-58-77) применяется для уплотнения стыков ограждающих конструкций из элементов профильного стекла при температуре эксплуатации  $-40...+70^{\circ}\text{C}$  и относительной деформации стыка не выше 10 %. Цвет мастики светло-серый. Ее расфасовывают в брикеты массой 1,5...2 кг и диаметром 50...60 мм, затем завертывают в полиэтиленовую пленку, упаковывают в деревянные или картонные ящики массой брутто не более 50 кг и поставляют партиями. Гарантийный срок хранения 6 мес. Стоимость мастики Бутэпрол-2М 580 р. за 1 т.

Мастику изготавливают на Подольском заводе стеновых материалов и конструкций (Киев) и Первомайском асфальтовом заводе.

*Герметик профильный нетвердеющий Бутэпрол-2* (ТУ 21-29-26-78) применяют для герметизации светопрозрачных конструкций из коробчатого, швеллерного и ребристого профильного стекла, стыковых соединений ограждающих конструкций, в том числе мобильных контейнерных зданий, при температуре эксплуатации  $-40...+70^{\circ}\text{C}$ . Герметик представляет собой светло-серую густую однородную нетвердеющую массу, изготавливаемую на основе синтетического каучука. Выпускает промышленность в виде лент прямоугольного сечения  $25\times 6$  или  $30\times 7$  мм. Стоимость — 770 р. за 1 т.

Мастику изготавливают на экспериментальном предприятии НПО «Промстройматериалы», Октябрьском ПО «Стройизоляция», Акменском комбинате строительных конструкций.

Перегерметизацию стыков мастиками бутэпрол и МБС осуществляют с помощью электрогерметизатора Стык-20, состоящего из электрической ручной сверлильной машины ИЭ-1017 или ИЭ-1017А; специального шнека, установленного в обогреваемой гильзе; загрузочного устройства; колодки (сопла); электрообогревателя и двух выключателей.

*Вулканизирующиеся тиоколовые и бутилкаучуковые мастики* представляют собой вязкую пастообразную массу, а по истечении времени вулканизации — эластичный резиноподобный материал.

Т а б л и ц а VI.2. Физико-механические свойства двухкомпонентных тиоколовых мастик

| Показатель                   | Единица измерения  | Значения показателей для |             |           |             |             |
|------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
|                              |                    | АМ-0,5                   | У-30М       | УТ-32     | КБ-0,5      | ГС-1        |
| Предел прочности при разрыве | МПа                | 1...1,2                  | 2,5         | 1,5...2,5 | 1,3...1,5   | 1,2         |
| Жизнеспособность             | ч                  | 1...6                    | 2...9       | 1...6     | 1...6       | 2...24      |
| Относительное удлинение      | %                  | 200                      | 150         | 150       | 200         | 200         |
| Остаточное »                 | %                  | 10                       | 8           | 15        | 10          | 18          |
| Температура хрупкости        | $^{\circ}\text{C}$ | -40                      | -40         | -40       | -40         | -40         |
| Плотность                    | кг/м <sup>3</sup>  | 1800                     | 1400...1450 | 1750      | 1500...1700 | 1600...2000 |
| Цвет                         |                    | Светло-серый             | Черный      | Серый     | Черный      | Черный      |



*Тиоколовые мастики* выпускают двух видов — дву- и однокомпонентные. Двухкомпонентные АМ-0,5; КБ-0,5; ГС-1; У-30М; УТ-32 (табл. VI.2) изготовляют из основной (герметизирующей) и отверждающей (вулканизирующей) паст.

Приготавливают мастику из отдельных компонентов на объектах перед употреблением, тщательно перемешивая составляющие, после чего начинается процесс ее вулканизации.

В состав некоторых мастик в процессе изготовления вводят ускорители и растворители. Их допустимое содержание должно соответствовать указанному в паспорте. Наносят мастику в стыки до начала ее загустения. Основную пасту мастики доставляют в металлической таре массой нетто не более 50 кг, отвердевающую пасту — в металлических или полиэтиленовых банках.

Заводы-изготовители поставляют компоненты мастик комплектно (количество основной пасты соответствует количеству отверждающей). Ориентировочная стоимость мастик 4000 р. за 1 т.

Вулканизация однокомпонентных мастик 51-УТО-40, 51-УТО-42, 51-УТО-43, 51-УТО-44 (ТУ 38-1054-96-72) осуществляется при контакте с влагой наружного воздуха (7...10 сут при относительной влажности 95...100 % и температуре воздуха 18...25 °С, 4...6 нед при влажности 50...75 % и той же температуре). Увеличение относительной влажности и повышение температуры воздуха ускоряет процесс вулканизации (табл. VI.3).

Т а б л и ц а VI.3. Физико-механические свойства однокомпонентных тиоколовых мастик

| Показатели                                      | Едини-<br>ница<br>изме-<br>рения: | Значения показателей для |           |           |           |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                 |                                   | 51-УТО-40                | 51-УТО-42 | 51-УТО-43 | 51-УТО-44 |
| Предел прочности при растяжении                 | МПа                               | 0,5...1,0                | 0,5...1,0 | 0,5...1,0 | 0,5...1,0 |
| Относительное удлинение при разрыве             | %                                 | 100...150                | 100...150 | 150...250 | 150...250 |
| Относительное удлинение при разрыве на образцах | %                                 | 200...300                | 200...300 | 300...500 | 300...500 |
| Плотность                                       | кг/м³                             | 1550                     | 1550      | 1550      | 1550      |
| Долговечность                                   | —                                 | Неограниченная           |           |           |           |
| Цвет                                            | —                                 | Белый                    |           |           |           |

Мастики 51-УТО-40 и 51-УТО-43 пастообразной консистенции предназначены для использования в весенне-летний период при температуре воздуха выше 5 °С; 51-УТО-42 и 51-УТО-44 жидкотекучей консистенции для использования в осенне-зимний период года при температуре +5...—10 °С.

Для ускорения начала герметизации допускается использовать распыление водяное или 3...5 %-го раствора дифенилгуанидина в ацетоне по поверхности указанных герметиков после введения их в стык. Мастику доставляют в металлических банках емкостью 5...8 л.

Т а б л и ц а VI.4. Физико-механические свойства бутилкаучуковых мастик

| Показатель                                                  | Единица измерения | Гермабутил-1, гермабутил-2 | Гермабутил-УМ, гермабутил-2М |
|-------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|
| Плотность рабочего состава                                  | кг/м <sup>3</sup> | 840...1100                 | 800...1100                   |
| Адгезионная прочность к бетону                              | МПа               | 0,42...0,40                | 0,42...0,40                  |
| Относительное удлинение вложений разрыва                    | %                 | 350...150                  | 350...150                    |
| Жизнеспособность рабочего состава при температуре (20+5) °С | ч                 | 15...20                    | 24...48                      |

Отвержденные тиоколовые герметики характеризуются высокой деформативностью, адгезией к строительным материалам, обладают бензомаслостойкостью, стойкостью к воздействию кислорода и озона, влаго- и воздухонепроницаемостью, некоторые из них стойки к растворам солей и разбавленных минеральных кислот и щелочей. Ориентировочная стоимость мастик 4000 р. за 1 т.

*Бутилкаучуковые мастики гермабутил-1, гермабутил-2, гермабутил-УМ, гермабутил-2М (РСТ СССР 5018—81\*)* двухкомпонентные, представляют собой высоковязкую массу на основе бутилкаучука с добавлением вулканизирующих агентов, наполнителей, растворителей и других добавок (табл. VI.4). Герметизируют этими мастиками без упругой подосновы или по ней. Рабочие составы готовят небольшими порциями. Для разведения герметиков до консистенции, необходимой для применения, используют ацетон, этилацетат, толуол, разжижители, Р-4, Р-5, циклогексанон. Поверхность стыков огрунтовывают жидким составом мастики с помощью установки СО-21 или пистолетов-распылителей С-562, или вручную кистью, разравнивая шпателем. Нагнетают мастику с помощью пневматических или ручных шприцев.

Мастики гермабутил-1 и гермабутил-УМ наносят на сухую поверхность, гермабутил-2 и гермабутил-2М — как на сухую, так и на влажную при температуре воздуха (20...+30) °С, температурный интервал эксплуатации (—50...+80) °С. Поставляют в барабанах массой до 20 кг, упаковывают составы в соответствии с РСТ СССР 5018—81\*.

Для приготовления рабочего состава мастики гермабутил-2 механизированным способом смешивают составы 1 и 2 в соотношении 1 : 1, а гермабутил-1, гермабутил-2М и гермабутил-УМ смешивают с порошком, прилагаемым к поставляемой мастике.

После тщательного перемешивания мастики готовы к употреблению. Вулканизация происходит при температуре окружающей среды. Предварительного подогрева рабочего состава мастики перед ее употреблением не требуется.

Ориентировочная стоимость мастик гермабутил-1, гермабутил-2, гермабутил-УМ, гермабутил-2М 800...900 р. за 1 т.

*Праймер (40 %-ный бутилкаучуковый концентрат)* применяют в качестве грунтовочного состава перед нанесением герметизирующих компонентов на поверхность бетона. Обладая незначительной вязкостью, он проникает в поры бетона, укрепляет поверхностный

слой и препятствует попаданию влаги к границе раздела герметик-бетон. Состоит из двух компонентов, представляющих собой пастообразную массу. Перед употреблением их разбавляют бензином «галоша» до 10...15 %-ной концентрации, а затем смешивают в соотношении 1 : 1. Рабочий состав вулканизируется и на холоде.

Показатели вулканизированного праймера:

|                                                     |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| Плотность                                           | 850 кг/м <sup>3</sup> |
| Временное сопротивление растяжению                  | 0,5 МПа               |
| Температура хрупкости                               | —65 °С                |
| Относительное удлинение                             | не менее 250 %        |
| Время вулканизации после смешивания (в тонком слое) | 10...20 мин           |
| Морозостойкость                                     | До 300 циклов         |

**Герметизирующие мастики на основе полиуретанов** позволяют уплотнять стыки без осушения поверхности их устья. Компоненты полиуретановой мастики [9]: бутилкаучук (100 вес. ч.), наполнители — цемент и асбест (20...80 вес. ч.), вулканизирующие агенты (3...8 вес. ч.), растворитель (50...80 вес. ч.), уретановая смесь на основе форполимера изоционата с полиолом (20...300 вес. ч.). Для приготовления мастики в отмеренное количество бутилкаучука вводят наполнители, вулканизирующие агенты (парахинон-диоксин с окисью марганца) и растворитель, затем при непрерывном помешивании — уретановую смесь и доводят консистенцию состава до однородной. Эти работы выполняют непосредственно перед герметизацией. Нагнетают герметик в стык с помощью шприца-туба. Герметизацию осуществляют по основе из пороизола, пористой резиновой прокладки (НРП) или гернита.

**Пористые прокладки** (гернит, пороизол, ПРП) поставляют на строительные объекты в связках или бухтах в комплекте с обмазочными мастиками.

**Пороизол** — пористый гидроизоляционный материал черного цвета, получаемый вулканизацией газонаполненной смеси, состоящей, в основном, из девулканизированной резины, мягчителя (нефтяных дестиллатов), порообразователя; выпускается в виде полос 30×40 и 40×40 мм или жгута круглого сечения диаметром 20...

Т а б л и ц а VI.5. Физико-механические свойства пороизола

| Показатели                                                                 | Единица измерения | Значения показателей для марок |     |      |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------|-----|------|
|                                                                            |                   | А                              | Б   | В    |
| Плотность                                                                  | кг/м <sup>3</sup> | 400                            | 500 | 500  |
| Предел прочности при разрыве, не более                                     | МПа               | 0,5                            | 0,2 | 0,07 |
| Относительное удлинение при разрыве, не менее                              | %                 | 200                            | 130 | 60   |
| Водопоглощение за 24 ч, по массе, не более                                 | %                 | 1                              | 1   | 1    |
| Остаточная деформация после 75 циклов замораживания и оттаивания, не более | %                 | 20                             | 20  | 30   |
| Температурный интервал эксплуатации                                        | °С                | —40 .. +70                     |     |      |

60 мм. Его используют вместе с мастикой изол (смесь отходов резины и кумароновой смолы), растворенных в бензине с волокнистым наполнителем (асбестом), канифолью и антисептиком. В зависимости от физико-механических показателей пороизоловые прокладки подразделяются на три марки — А, Б и В (табл. VI.5).

Ориентировочная стоимость 1 м жгута пороизола 4,5...1 р.

Прокладка ПРП — жгут с пористой основой и сплошной водонепроницаемой оболочкой на поверхности, изготавливаемый из резиновой смеси на основе натрийбутадиенового синтетического каучука (СКБ) в смеси с натуральным (НК). Выпускают круглого сечения диаметром 20...50 мм, длиной  $\geq 2,7$  м, применяют вместе с мастикой изол или тиоколовыми мастиками.

Плотность ПРП-1 200...400 кг/м<sup>3</sup>, эластичное восстановление не менее 60 %, температурный интервал эксплуатации — 25...+70 °С. Стоимость 1 т прокладок ПРП-1 1756...2261 р. (в зависимости от диаметра).

Гернит — резиновая прокладка светлого цвета с пористой основой, изготавливаемая из резиновой смеси на основе полихлорпренового каучука; применяется самостоятельно или с клей-мастичной КН-2, или КН-3 (клеящая композиция на основе найрита и кумароновой смолы), или тиоколовыми мастиками. Гернит долговечнее пороизола.

Его показатели:

|                                     |                                                   |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Плотность                           | 250...500 кг/м <sup>3</sup>                       |
| Эластичное восстановление           | Не менее 50...75 % (в зависимости от температуры) |
| Водопоглощение за 24 ч              | 3...5 % по массе                                  |
| Температурный интервал эксплуатации | —40...+70 °С                                      |
| Ориентировочная стоимость 1 м жгута | Около 0,4 р.                                      |

*Последовательность выполнения основных работ при герметизации прокладками из пороизола, гернита или ПРП.* Подготавливают внутреннюю поверхность и устье стыка, грунтуют стык мастикой, устанавливают жгут с помощью деревянной конопатки или ролика ЦНИИОМТП; в вертикальных стыках подвешивают его в свободном состоянии, покрывают жгут мастикой; концы жгутов срезают на ус и склеивают. Стыковать жгуты по длине следует не ближе 0,5 см от места пересечения вертикальных и горизонтальных стыков. Прокладки должны обжиматься на 30...50 % своего первоначального сечения.

Полисилоксановые пеногерметики представляют собой смеси низкомолекулярных силоксановых полимеров с наполнителями и добавками в сочетании с отвердителями. В зависимости от соотношения составляющих получают герметики разной консистенции (от твердой и пастообразной замазки до легко растекающихся жидкостей).

Эластосил — однокомпонентный клей-герметик, обладающий влаго- и теплостойкостью, хорошими диэлектрическими и адгезионными свойствами, изготавливают путем смешивания полиорганосилоконового каучука, наполнителей, катализаторов, адгезионного

компонента и, при необходимости, растворителей. Температурный интервал эксплуатации от  $-60$  до  $+250$  °С. Обладает самостоятельной адгезией (без применения праймеров) к стали, алюминиевым сплавам, стеклу, бетону. Выпускают его марок 11-01, 11-02, 21-03, 21-04, 11-06. Эластосил-11-06 отличается от остальных модификаций большей деформативностью, что важно при перегерметизации стыков. Его показатели:

|                                                                        |               |
|------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Предел прочности при разрыве . . . . .                                 | 1,6...2,5 МПа |
| Относительное удлинение . . . . .                                      | 300...350 %   |
| Адгезия к бетону . . . . .                                             | 0,5...0,9 МПа |
| Усадка . . . . .                                                       | 1...2 %       |
| Напряжение при разрыве в шве при температуре $(20 \pm 5)$ °С . . . . . | 0,5...0,9 МПа |
| Жизнеспособность, мин., не менее . . . . .                             | 10            |

Мастику эластосил выдавливают в предварительно очищенные стыки ручным шприцем из туб массой 0,5...1 кг. Рационально ее использовать для перегерметизации стыков сжатия и самоуплотняющихся, а также в сочетании с армирующей основой, приклеивать которую к бетону следует другими герметиками или клеями.

Мастики пригодны для использования при высокой температуре, так как процесс деструкции завулканизированных мастик некоторых марок начинается при температуре более 300 °С.

Высокими механическими свойствами обладают трехкомпонентные мастики Висксинт V-1-18, V-2-28, V-4-21, жизнеспособность которых регулируется количеством катализатора и зависит от температуры воздуха. Они обладают следующими физико-механическими свойствами:

|                                   |               |
|-----------------------------------|---------------|
| Прочность при разрыве . . . . .   | 1,6...2,6 МПа |
| Относительное удлинение . . . . . | 100...240 %   |
| Жизнеспособность . . . . .        | 0,5...6 ч     |

*Герметик Герлат* разработан на основе эластомера, состоит из каучука СКН-40-ГТП (СКО-65) и эпоксидной смолы. Его особенность — долгое отверждение (в течение 10...45 сут его свойства аналогичны пластично-эластичным нетвердеющим мастикам типа УМ-40). Поставляется готовым к употреблению, расфасованным в полиэтиленовые тубы (мешочки), в которых он сохраняется 6 мес. Его наносят механическим способом, например, с помощью электрогерметизатора Стык-20. Отличается стабильной адгезией к бетону и пригоден к употреблению при температуре до  $(-20)$  °С.

**Мастика герметизирующая отверждающая однокомпонентная строительная** (ТУ 21-29-113-84 на опытно-промышленную партию). Применяют для закрытых и дренированных стыков при предельно допустимой деформации мастики в шве не более 20 %. Температура эксплуатации  $-40...+70$  °С. Изготавливают на основе синтетического каучука и эпоксидной смолы. Это однородная масса светло-бежевого цвета, темнеющая под влиянием дневного света. Допускается поставка мастики в комплекте с покрасочным составом — эмалью КО-174. Мастику поставляют в виде брикетов массой около 1 кг и диаметром 50 мм в полиэтиленовой пленке, упакованных в деревянные или картонные ящики. Срок хранения 6 мес.

Перед нанесением мастики поверхность бетона очищают от пыли, грязи и обезжиривают. Мастику наносят пневмошприцем или электрогерметизатором типа Стык-20. Герметизацию следует выполнять при температуре не ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Расход на 1 м стыка около 400 г. Ориентировочная стоимость 1 т мастики около 3000 р. Изготавливают ее на Подольском заводе стеновых материалов и конструкций (г. Киев).

Армогерметики представляют собой мастики, армированные стеклянными, базальтовыми или синтетическими тканями (сетками), а также неткаными материалами [17].

Герметизируют стыки в такой последовательности. На тщательно очищенное от старой изоляции основание кистью или распылителем наносят приклеивающий слой мастики, по которому расстилают армирующий материал, выполняя компенсационный провес. По армирующей основе шпателем наносят защитный слой мастики толщиной  $1,2 (\pm 0,2)$  мм.

К перспективным строительным герметикам относятся полиуретановые составы на основе олигодиенов (полимеры ПДИ, ПДИ-0 и ПДИ-1), обладающие высокой морозостойкостью (температура стеклования  $-85...+95^{\circ}\text{C}$ ) и эластичностью. Плотность  $730...1100 \text{ кг/м}^3$ , прочность при разрыве  $1,5...12 \text{ МПа}$ , относительное удлинение  $42...230 \%$ .

**Герметизирующий расширяющийся вкладыш КТГМ** — прокладка цилиндрической или овальной формы, изготавливаемая прессованием из смеси, состоящей из вспучивающего компонента, вяжущего и токопроводящего наполнителя.

По концам вкладыша запрессовывают медные или алюминиевые электроды. Затем его покрывают специальной эластичной оболочкой из термопластичного эластопласта. На электроды подают ток силой  $1,5...2 \text{ А}$  напряжением  $12...36 \text{ В}$ , что приводит к вспучиванию и уплотнению стыка.

*Последовательность основных работ при герметизации вкладышами КТГМ* [44]. Вдоль наружной поверхности стыка устанавливают монтажную рейку. Приборами проверяют фактическое сопротивление каждого из вкладышей и сверяют с паспортными данными. В полость стыка опускают каучуковую пробку (из сырой резины), обеспечивающую после обжатия надежную герметизацию в месте соединения вертикального стыка с горизонтальными, а затем — проверенные вкладыши, размер которых на  $10...30 \%$  меньше поперечного стыка. После этого подводят питание к электродам, проверяют общее сопротивление цепи, и, если оно равно сумме по отдельным участкам, подводят ток. Вспучивание осуществляют в течение  $3...5$  мин (в зависимости от сопротивления вкладышей). Концы токопроводящих проводников загибают и замоноличивают раствором во время расшивки швов.

Оклеечную перегерметизацию стыков осуществляют составами на основе бутилкаучуковых композиций (праймера  $20...25 \%$ -ной концентрации или мастики гермабутил), армированных стеклотканью.

Последовательность выполнения работ следующая. Подготовка исходных материалов включает резку полос стеклоткани, ширина которых должна превышать ширину стыка не менее чем на 10 см. Невулканизирующийся слой толщиной не менее 0,3 мм наносят пистолетами-распылителями марок С-592, С-765, 0-45 с использованием красконагнетательного бачка типа С-383 или компрессора, входящего в комплект, а на небольшие поверхности — кистью или валиком.

Первый гидроизоляционный слой наносят через 30...40 мин после полного испарения растворителя, но до наступления вулканизации (2 ч). Стеклоткань наклеивают по первому слою с обязательным провисанием по оси стыка на глубину не менее 1,5 см для стыков шириной 40 мм и не менее 0,8 см для стыков шириной 20 мм, прикатывая ее резиновым валиком к кромкам стыкуемых элементов. Второй гидроизоляционный слой наносят по стеклоткани (в два слоя) с интервалом в 20...40 мин. Концы стеклоткани тщательно покрывают рабочим составом с заходом на поверхность бетона не менее чем на 0,5 см. Работы проводят при положительной и отрицательной температурах.

**Лента герметизирующая Герволент (ТУ 21-99-46-76).** Применяют для герметизации открытых стыков наружных стеновых панелей. Изготавливают на основе синтетического каучука в виде рулонов с прикладочным материалом (ткань, антиадгезионная бумага) или цилиндрических стержней диаметром 80...100 мм. Температура эксплуатации —40...+80 °С.

Грани панелей перед наклейкой ленты загрунтовывают составом 14ТЭП-8, мастикой КН-2 или термопластиковым герметиком 51-Г-18 с устройством компенсатора, без которого лента может отслоиться уже через 2...3 г эксплуатации. Стоимость 1 м ленты 1,9 р.

Герволент изготавливают на экспериментальном предприятии НПО «Полимерстройматериалы» и Вильнюсском заводе полимерных изделий.

**Герметизирующая самоклеющаяся лента Герлен-Д (ТУ 400-1-165-79).** Применяют для герметизации закрытых стыков наружных стен крупнопанельных, крупноблочных строящихся и ремонтируемых зданий. Изготавливают из синтетического каучука, дублированного нетканым синтетическим материалом. Лента эластопластичная серого цвета. Температура ее эксплуатации —50...+60 °С. Прочность связи с бетоном не менее 0,1 МПа.

| Размеры рулонов, мм: |   |   |   |   |   |   |   |   |                    |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------|
| Длина                | . | . | . | . | . | . | . | . | 1200               |
| Ширина               | . | . | . | . | . | . | . | . | 1000, 12000 и 2000 |
| Толщина              | . | . | . | . | . | . | . | . | 3                  |

Стоимость 1 м ленты в зависимости от ширины 0,76; 0,9; 1,5 р. Ленту серийно изготавливает Мосстройпластмасс.

Самоклеющиеся ленты следует наклеивать через 20...30 мин после нанесения грунтовки и прикатывать специальным роликом, не вытягивая при этом по длине и ширине.

**Перегерметизация стыков оконных коробок зданий.** Осуществляют с использованием пенополиуретанового герметика, представ-

ляющего собой продукт синтеза полиэфирной смолы с диизоцианатами в присутствии активатора, эмульгаторов и добавок, который выпускают в виде блока размером  $1 \times 2$  и  $0,85 \times 2$  м, толщиной 5...10, 10...30, 50...100 мм. Размеры прокладок, вырезанных из блоков, должны на 50...55 % превышать толщину герметизируемого ими шва.

Механизированный способ перегерметизации стыков оконных и дверных проемов пенополиуретановыми герметиками заключается в нанесении исходных компонентов в стык с помощью пистолета конструкции Владимирского НИИ синтетических смол [44] или установки, состоящей из баллона, шланга высокого давления с вентилями и соединительными деталями, а также форсунок. Оптимальный размер форсунки — половина герметизируемой щели. Вспенивание и затвердевание происходит в щели. Через 6...12 ч лишнюю затвердевшую эластичную пену убирают ножом и поверхность стыков закрывают деревянными раскладками.

**Перегерметизация деформационных швов зданий и сооружений водоотводов, труб.** Осуществляют путем заполнения их пористыми полимерными прокладками типа пороизола, перекрытия шва полосками джутовой или стеклоткани на тнколовых бутилкаучуковых мастиках и перекрытия шва слоем рубероида или толя.

**Водонепроницаемость стыков между стеновыми панелями и балконными плитами** достигается путем их перегерметизации нетвердеющими мастиками и плотным цементным раствором, а также обеспечением отвода воды от стыка, что достигается определенным уклоном верхней плоскости балконной плиты, установкой металлических сливов, капельников.

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИХ ПАРО- И ГИДРОИЗОЛЯЦИИ**

Причины нарушения влажностного режима ограждающих конструкций, а следовательно, и снижения их теплозащиты, долговечности и, в конечном итоге, надежности подразделяются на три группы: неверное проектное решение, некачественное устройство паро- и гидроизоляции конструкции, неправильная эксплуатация конструкции. Основные проектные ошибки заключаются в неправильной оценке кинетики влагосодержания ограждающей конструкции, неверном выборе и установке паро- и гидроизоляции, неполном учете климатических особенностей района эксплуатации здания.

Для корректной оценки кинетики влажностного состояния ограждающей конструкции необходимо выбрать адекватную математическую модель процесса влагопереноса (см. гл. I), на основании которой выбирают метод расчета влажностного состояния конструкции (см. гл. IV). Необходимо также правильно определить теплофизические (влажностные) свойства материалов ограждающей конструкции (см. гл. V). Вид и толщину пароизоляционного



слоя устанавливают по показателю требуемого сопротивления паропрооницанию ограждающей конструкции (см. гл. I). Климатические особенности района эксплуатации здания учитывают по СНиП 2.01.01-82, а при необходимости — по данным метеорологических наблюдений.

При возведении ограждающих конструкций на строительной площадке или их изготовлении на домостроительных заводах некачественное выполнение работ по устройству паро- и гидроизоляции, замена паро- или гидроизоляционного материала (например, нанесение на наружную поверхность ограждения штукатурки непредусмотренной проектом высокой марки прочности, очень плотной, и с незначительным коэффициентом паропрооницаемости или покрытие внутренней поверхности ограждения битумом вместо наклейки полиэтиленовой пленки с последующим покрытием ее битумно-кукерсольной мастикой) приводит к накоплению влаги в толще ограждающей конструкции.

Причины неудовлетворительного влажностного режима эксплуатации ограждающих конструкций выявляют при общих осмотрах здания, которые приводят два раза в год.

Весенние осмотры проводят после таяния снега. При этом выявляют характер и причины повреждений отдельных элементов здания, уточняют объем работ по текущему ремонту. Осенние осмотры проводят до наступления отопительного сезона и образования снежного покрова, проверяя качество выполнения ремонтных работ, обеспечивающих нормальную эксплуатацию здания. Качество гидроизоляции ограждающих конструкций и герметизации их стыков проверяют после ливней, снегопадов и последующих оттепелей.

Планово-предупредительные ремонты и мероприятия, проводящиеся эксплуатационными службами, включают [36]:

- обеспечение исправного состояния всех устройств для отвода атмосферных и талых вод (водосточные трубы, ендовы, карнизы, стыки);

- своевременное удаление снега с крыш и от стен зданий;

- отсутствие влажных и гигроскопичных материалов вблизи наружных стен здания, а также громоздкого оборудования с большими поверхностями, затрудняющими свободную циркуляцию воздуха у стен;

- обеспечение исправного состояния гидроизоляции фундаментов и стен подвалов;

- регулярное (не реже чем через 4...6 лет) возобновление пароизоляционного слоя ограждающих конструкций;

- обеспечение исправного состояния и своевременное возобновление защитных элементов штукатурок, облицовок, кровель, лакокрасочных покрытий;

- обеспечение исправного состояния ограждающих конструкций здания (стен, покрытий, оконных и дверных заполнений) и их стыковых соединений.

Работы по ремонту и обеспечению надлежащего уровня паро-

гидро- и теплоизоляции ограждающих конструкций проводят специализированные ремонтно-строительные организации.

**Гидрофобизационный метод восстановления гидроизоляции наружных стен** заключается в нанесении на наружные поверхности стен гидрофобных покрытий на основе бесцветных кремнийорганических жидкостей типа ГКЖ-10, ГКЖ-11 или ГКЖ-94. Образующийся водоотталкивающий нерастворимый слой в течение 5...6 лет сохраняет водозащитную способность, не нарушая при этом влажностного состояния стены, так как обладает достаточной паропроницаемостью [36].

Для приготовления рабочей эмульсии ГКЖ-94 доставляемую с завода 50 %-ную эмульсию (раствор гидрофобизирующей жидкости ПКЖ-94, содержащий желатин в качестве эмульгатора) разбавляют водопроводной водой при температуре  $(+18 \pm 3)^\circ\text{C}$  до консистенции 20 %-ной. При 100 %-ной концентрации исходного материала ГКЖ-94 в отмеренный объем холодной воды добавляют желатин из расчета 1 %-ного раствора, который подогревают до температуры 60...80 $^\circ\text{C}$  (до полного растворения желатина), к охлажденному раствору желатина добавляют жидкость ГКЖ-94 до требуемой консистенции, смесь перемешивают в баке (3000 об/мин) в течение 2...3 ч.

Наружную поверхность ограждающей конструкции очищают щетками или пескоструйным аппаратом от грязи, 20 %-ный раствор эмульсии наносят краскопультом на сухую поверхность при температуре 18...20 $^\circ\text{C}$  в один слой по всей поверхности без пропусков и подтеков.

На 1 м<sup>2</sup> бетонной поверхности расходуют 250...300 г 20 %-ной гидрофобизирующей эмульсии, нанесенной в один слой.

**Восстановление гидроизоляционного слоя методом торкретирования** заключается в нанесении на наружную поверхность стены раствора с помощью цемент-пушки или аппарата инженера Дрохова, соединенного с компрессором, подающим сжатый воздух под давлением 2...5 $\times 10^5$  Па. Смесь цемента и песка выбрасывается сжатым воздухом по шлангу через наконечник со скоростью 80...100 м/с. По параллельному шлангу к выходящей смеси подают такое количество воды, чтобы раствор приобрел требуемую подвижность.

Состав раствора 1 : 2...1 : 3 при оптимальном зерновом составе заполнителя. Поверхность ограждения очищают от грязи, обрабатывают сжатым воздухом, пропитывают водой. Сухую смесь (песок и цемент) тщательно перемешивают в растворомешалке до получения однородной массы. Готовую смесь необходимо использовать в течение часа. Первый слой торкрет-раствора наносят толщиной 10...15 мм, второй и третий слой — 5...10. Каждый последующий слой наносят после схватывания цемента в предыдущем и по предварительно увлажненной поверхности.

При работе сопло шланга необходимо направлять перпендикулярно обрабатываемой поверхности и держать его на расстоянии 70...140 см от нее. Давление воздуха в цемент-пушке должно быть

не менее  $4 \cdot 10^5$  Па. Толщину торкрет-слоя контролируют маяками.

**Восстановление гидроизоляции с помощью синтетических смол** заключается в нанесении на наружную поверхность стен состава на основе смолы ЭД-5. Его наносят кистью или пистолетом-распылителем. Состав подготовительного слоя, части по массе:

|                                            |      |
|--------------------------------------------|------|
| Смола ЭД-5 . . . . .                       | .100 |
| Ацетон (растворитель) . . . . .            | .60  |
| Пластификатор-дибутилфталат . . . . .      | .10  |
| Отвердитель — полиэтиленполиамин . . . . . | .10  |

Нанесенный слой сушат в течение 10...20 ч при температуре 15 °С.

Состав основного слоя: соотношение компонентов то же, кроме ацетона (20 ч). Нанесенный слой выдерживают до 2 сут.

Состав покрывочного слоя: соотношение компонентов то же, но добавляется 10...30 вес. ч пигмента из алюминиевой пудры, титановых белил. Сушат около 2 ч.

Для приготовления эпоксидного состава смолу заливают ацетоном, затем дибутилфталатом и непрерывно перемешивают. Добавляют отвердитель. Приготовленная масса должна быть использована в течение 1...1,5 ч. При работе необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, так как все компоненты токсичны. Перед началом работ по восстановлению гидроизоляционного слоя устраняют на наружной поверхности ограждающей конструкции трещины, раковины, изъёмы. Трещины в железобетонных стенах, возникновение которых не приводит к отказу конструкции и не требует усиления элементов с помощью дополнительной арматуры или бетона, заделывают латексным раствором [30]. Каменную мелочь, пыль и грязь удаляют из трещины с помощью щетки, а поверхность бетона по обе ее стороны очищают проволочной щеткой. Латексный раствор, вводимый в трещину кистью, состоит из 2 ч (по массе) портландцемента и 1 ч эмульсии бутадиен-стирольного латекса. Раствор также наносят на поверхность бетона шириной примерно 75 мм с каждой стороны трещины. При необходимости через 1...2 недели наносят еще один слой раствора.

Неконструктивные трещины бетонных стен заделывают жидким раствором или цементным тестом, приготовленным на белом цементе или на смеси белого и серого (в зависимости от цвета восстанавливаемой смеси) с добавлением латекса белого искусственного каучука [31]. Трещину вымывают холодной водой на ширину 75 мм по обе ее стороны. Раствор в трещину вводят деревянным шпателем с резиновой пластинкой. Через две недели после окончания ремонта всю стену промывают водой.

**Облицовочный метод восстановления гидроизоляции стен** заключается в нанесении на наружную поверхность стен облицовочного слоя из керамических плиток, мозаики, кирпича, листовых материалов, штукатурки.

При восстановлении слоя керамических плиток удаляют их и слой раствора, в которых произошли значительная потеря сцепления и отслоение. Поверхность основания очищают от пыли и мел-

кой каменной крошки. Отпавшие керамические плитки или мозаику восстанавливают на цементном растворе состава 1 : 3 с добавкой пластификатора-мылонафта (1...2 кг) или отходов соапстока (2...3 кг на 1 м<sup>3</sup> раствора). Также для этой цели используют мастики с соответствующими частями по массе [16]:

|                               |                                                                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Известково-битумная . . . . . | Битум — 1; известковое тесто — 0,8; вода — 0,6                                      |
| Цементно-латексная . . . . .  | Латекс СКС-65 — 1,5; цемент — 1; жидкое стекло — 0,1; сланцевое масло — 0,03        |
| Цементно-поливинилацетатная   | Портландцемент М400—1,5; поливинилацетатная эмульсия — 1; вода — до рабочей частоты |
| Битумно-силикатная . . . . .  | Паста глинобитная — 1; жидкое стекло — 0,7; мел молотый — 2                         |

Толщина слоя мастики для наклеивания плитки 2...3 мм.

Восстановление полного сцепления на тех участках, где произошла частичная его потеря, осуществляют путем инъектирования в пустоты полимерных смол и применения анкеров. Смола должна быть малой вязкости, иметь незначительную усадку, низкий модуль упругости, способность сцепляться с влажной поверхностью основания, достаточную «жизнеспособность» в сочетании с быстрым отверждением [31]. Воду между выравнивающими слоями необходимо удалять с помощью высверленных для дренирования отверстий или сжатым воздухом под небольшим давлением. Инъектирование осуществляют снизу вверх.

Анкера применяют с целью повышения надежности сцепления плитки с основанием. Кроме общепринятых средств крепления анкеров, применяют следующий [31]. В заранее просверленное отверстие вставляют стеклянную трубку, наполненную смолой. В отверстие ввинчивают болт, который разбивает стекло и высвобождает смолу. При контакте с воздухом она отверждается и плотно закрепляет болт в отверстии.

Облицовку в четверть кирпича устанавливают на балку, плиту перекрытия или специальную балку, опертую на фундамент, и крепят гибкими связями к панелям. Для этого в горизонтальные швы облицовки через 70...80 см устанавливают каркас из двух стержней арматуры диаметром 6 мм и через 50 см по длине соединяют их со связями, заделанными в панели. В простенках предусматривают не менее двух связей по длине [16].

Для исключения металлических крепежных деталей применяют раствор на основе эпоксидной смолы или цементно-песчаный с добавлением бутадиен-стирольного латекса в воду затвердения. Латексную эмульсию применяют в количестве 10 л на 50 кг цемента. Если латекс, как вяжущее, применяют в литом цементном растворе, то требуется до 25 кг эмульсии на 50 кг цемента. Основание стены при этом обрабатывают пескоструйным аппаратом или окалывают вручную.

При облицовке листовыми материалами (волнистым стеклопластиком, гофрированным алюминием) к панелям крепят дере-

вянные рейки, а к ним шурупами с резиновыми шайбами — листы облицовки. Расстояния между рейками соответствуют размерам листов облицовки.

При облицовке штукатуркой «на относе» в панели заделывают стержни, по которым на отnose 1,5...2 см натягивают металлическую сетку. По сетке торкретированием наносят слой цементного раствора толщиной 3...4 см без выявления стыков панелей.

**Восстановление гидроизоляции покрытий.** Осуществляют с применением рулонных битумных, пленочных или мастичных материалов.

При восстановлении гидроизоляционного ковра из рулонных материалов ширина продольных и поперечных стыков внахлестку должна быть не менее 10 см. Слои ковра проклеивают насыщенно и по всей плоскости слоя, применяя метод розлива и накатывания.

Горячее приклеивание (в зависимости от вида битумной мастики при температуре 180...220 °С) осуществляют при отсутствии атмосферных осадков и температуре выше 5 °С.

Слои с металлизированной прокладкой укладывают только на участках с незначительными колебаниями температуры, например, под гравийной засыпкой и покрытиями крыш-террас.

Однослойные неплотно уложенные полимерные полотна кровли помимо приклеивания или сваривания стыков внахлестку имеют дополнительное усиление в виде литой пленки или защитной ленты [67].

К рулонным битумным материалам относят стеклобит, гидростеклоизол, стеклоллуберонд.

*Стеклобит* изготавливают из битумов нефтяных кровельных (ГОСТ 9548—74\*) или дорожных (ГОСТ 22245—76\*), одного слоя стеклосетки СС, покрытой резинобитумной мастикой наполнителя (талька) и минеральной посыпки, которую наносят с обеих сторон.

*Гидростеклоизол* кровельный (ТУ 400—1—20—74) и подкладочный (ТУ 400—1/55—16—77) изготавливают из того же битума, который при оплавлении быстро переходит в жидкое состояние за счет добавок масел цилиндрического «6» или автотракторного. Поверхность гидростеклоизола с обеих сторон равномерно покрыта тальком, а прокладкой служит парафинированная бумага. В качестве армирующей основы применяют стеклоткань ТСТ<sub>2</sub>.

*Стеклоллуберонд* на вяжущем состоит из двух видов битума (ГОСТ 9548—74\* и ГОСТ 22245—76\*), пластификатора, наполнителя и антисептика.

При восстановлении гидроизоляции кровель особо пригоден рулонный материал экарбит (ТУ 21—27—68—78), на который нанесена масса из следующего состава, % по массе:

|                                                                                         |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Битум БНК-90/30 . . . . .                                                               | 85...87 |
| Этиленпропиленовый тройной каучук или дивинилсти-<br>рольный термоэластопласт . . . . . | 3...5   |
| Тальк . . . . .                                                                         | 10      |

## Свойства материалов:

|                                                            | Стеклорубероид | Экарбит |
|------------------------------------------------------------|----------------|---------|
| Температура размягчения пропиточного состава, °С . . . . . | 85             | 40      |
| Температура хрупкости, °С . . . . .                        | —15            | —40     |
| Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .                        | 25             | —       |
| Прочность при разрыве полосы шириной 1 см, МПа . . . . .   | 3              | 3,4...4 |
| Теплостойкость, °С . . . . .                               | 60             | 40      |

При ремонте рулонных кровель используют бутерол (ТУ 38—3—00—582). Его состав, %:

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Бутилкаучук . . . . .      | 30,5 |
| Регенерат резины . . . . . | 28,9 |
| Мел . . . . .              | 14,5 |
| ПМ-50 . . . . .            | 17,4 |

Приклеивают бутерол мастикой МБПК-Г-75 (ТУ 400—2—190—74) или разогретой битумной, доставляемой на объект гудронатором. Бутерол сохраняет эластичность при температуре —40 °С, его прочность на растяжение превышает 0,35 МПа при относительном удлинении более 200 %.

При восстановлении гидроизоляции железобетонных конструкций применяют гидробутил на специальной приклеивающей и холодной изоловой мастиках. Его прочность на растяжение превышает 0,25 МПа при относительном удлинении 500 %. Гидробутил биостоек, водопоглощение за 24 ч не превышает 0,5 %.

К *термопластам* применяемым при восстановлении гидроизоляции, относятся полиэтилен, сополимер этилена и пропилена, полибутилен.

Полиэтиленовые сварные листы, пленки разной толщины и профилированные изделия водостойки, стойки в агрессивной среде грунтов, но быстро стареют в атмосферных условиях.

Полиэтиленовые листы и пленки при устройстве гидроизоляции соединяют путем прутковой или компрессионной сварки. Сварные швы прочностью 10 МПа в процессе эксплуатации быстрее утрачивают надежность, чем полиэтилен. При выполнении сварочных работ следует предусматривать меры предосторожности, так как при нагревании до температуры 150...200 °С полиэтилен выделяет вредные вещества.

*Металлопласты типа* металлоизола (75 % БН-70/30 и 25 % асбеста 7-го сорта) МА-550 и МВ-270, фольгоизола (алюминиевая фольга толщиной 0,1...0,3 мм с односторонним покрытием из битумной мастики слоем 0,8...4 мм), а также холоднокатаные стальные полосы, плакированные поливинилхлоридной пленкой, целесообразно применять для восстановления гидроизоляции, к которой предъявляют повышенные технические и эстетические требования.

Выборочный ремонт покрытий с помощью рулонных или пленочных материалов сводится к их наклейке на поврежденную по-

верхность гидроизоляционного ковра в местах ее трещин, пробоин и разрывов. Местные вздутия и расслоения гидроизоляционного ковра устраняют крестообразным надрезом дефектного участка и последующим послойным наклеиванием отогнутых краев ковра. При повреждении ковра (отслоении, сползании, гниении) на большой площади его разрезают до основания и послойно наклеивают новый, перекрывающий поврежденный участок на 150...200 мм. После этого восстанавливают защитный слой.

Полную замену гидроизоляционного ковра начинают с ремонта основания покрытия. Незначительные по глубине просадки и впадины заливают мастиками и заклеивают слоем кровельного материала.

Повреждения основания глубиной более 10 мм устраняют путем нанесения поверх деформированной стяжки выравнивающего слоя из того же материала.

Восстановление гидроизоляции покрытий с применением битумных эмульсионных мастик на твердых эмульгаторах (РСН 295-83) включает огрунтовку основания битумной эмульсионной пастой толщиной 0,5 мм; нанесение основного водоизоляционного ковра из 2 слоев битумной эмульсионной мастики толщиной 2...3 мм каждый по двум слоям битумной эмульсионной пасты толщиной 2...3 мм каждый общей толщиной 10...12 мм в стабилизированном состоянии; защитную окраску из битумной краски марки БТ-177 (ГОСТ 5631—79\*) или суспензии алюминиевой пудры ПАК-3 или ПАК-4 (ГОСТ 10096—76\*) в керосине (1 : 10 по массе), наклеенной в два слоя при общем расходе окрасочного материала 200 г/м<sup>2</sup>.

Битумные эмульсионные мастики и пасты наносят с помощью кистей или валиков; пневмообрызгом с помощью форсунок с центральной подачей сжатого воздуха; с подачей мастик растворонасосами; пневмоподачей с использованием вихревых форсунок.

*Битумно-полимерная эмульсия ЭГИК (ВН 77—22 Главмострострой).* Поставляется в готовом виде и хранится в течение 1 мес при температуре выше 10 °С. При нанесении ее пистолетом одновременно подается эмульсия и 5 %-ный водный раствор хлористого кальция (0,15...0,2 объема эмульсии). При расходе 6 л эмульсии на 1 м<sup>2</sup> поверхности бетона толщина покрытия 3...4 мм.

В климатических условиях Украины эмульсию можно применять около 100 дней в году для ремонта кровель. Для ремонта мягких кровель, а также заделки фальцев и пробоин на металлических используют мастику Кровелит (ТУ 21-27-66-7-80) кровельную (МКВК) и гидроизоляционную (МКВГ).

Ее физико-механические свойства:

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| Температура эксплуатации, °С                               | —50...+100 |
| Относительное удлинение по ГОСТ 270—75, %                  | 300...350  |
| Предел прочности при разрыве, МПа                          | ≥1         |
| Адгезия к бетону, МПа                                      | ≥0,3       |
| Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> ·10 <sup>3</sup> | ≤5         |

*Битумно-бутилкаучуковая мастика МББ-Х-1120 Вента (ТУ 21—27—39—77).* Выпускается в виде двух компонентов А и Б, которые смешивают перед употреблением в равных объемах и используют

в течение 3 ч после перемешивания. При нанесении ее пневмораспылением допускается дополнительное введение до 15 % растворителя (ксилол, сольвент или Р-4). Толщина покрытия после вулканизации  $1,0 \pm 0,1$  мм. При нанесении мастики на старый рулонный гидроизоляционный ковер расход ее на 1 м<sup>2</sup> составляет около 3 кг, а на бетон или старое покрытие из эмульсии ЭГИК — до 4 кг. При выполнении примыканий и сопряжений из мастики Вента используют стеклянные ткани и сетки. Ее физико-механические свойства:

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| Предел прочности при разрыве, МПа . . . . .                  | $\geq 0,4$ |
| Водопоглощение, кг/м <sup>2</sup> ·10 <sup>3</sup> . . . . . | $\leq 0,2$ |
| Теплостойкость, °С . . . . .                                 | $\geq 120$ |

**Гидроизоляция влажных поверхностей.** Осуществляют путем нанесения гидроизоляционного слоя после промежуточного, выполненного из материала, который при соприкосновении с влагой на поверхности конструкции структурируется и обладает при этом необходимой адгезией к влажной поверхности конструкции и гидроизоляционным слоям.

Для получения промежуточного слоя применяют [10] уретановую смесь на основе форполимера с изоцианатными группами, содержащую следующие компоненты, части по массе:

|                                                                                   |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Продукт взаимодействия полиэтиленгликольадината с толуплендиизоцианатом . . . . . | 25      |
| Полиизоцианат . . . . .                                                           | 25...20 |
| Трихлорэтилфосфат . . . . .                                                       | 50...55 |
| Растворитель (толуол) . . . . .                                                   | 0...15  |
| Наполнитель (диабазовая мука) . . . . .                                           | 0...30  |

Смесь наносят на влажную поверхность кистью и выдерживают до окончания процесса структурообразования (24 ч при температуре  $(20 \pm 5)$  °С и 72 ч при температуре  $(7 \pm 2)$  °С).

На затвердевший промежуточный слой наносят бутилкаучукую вулканизирующую мастику (гермабутил-1, гермабутил-2, гермабутил-УМ, гермабутил-2М) в соответствии с РСТ УССР 5018—81. Работы проводят как при положительной, так и отрицательной температуре. В качестве промежуточного слоя используют полиуретановый клей КИП-Д (ТУ-6-01-1010-75) (см. гл. II). Стоимость 1 т клея 4800 р., мастик на его основе с наполнителями — около 2000 р. Расход клея на 1 м<sup>2</sup> поверхности 0,5...1 кг.

**Восстановление пароизоляционного слоя в перекрытиях.** Осуществляют в такой последовательности. Удаляют покрытие и цементно-песчаную стяжку (при ее повреждении), тщательно очищают и заглаживают поверхность плиты перекрытия. На подготовленную поверхность наносят пароизоляционный слой из мастичных материалов (асфальтовой мастики, битума, полимерных смол — полиуретана, эпоксидной смолы или их комбинаций, дегтя) или рулонных (рубероида, пергамина, полиэтилена, битулкачука, полиизобутилена, поливинилхлорида). Толщину пароизоляционного слоя определяют в зависимости от коэффициента паропроницаемости изолирующего материала (см. гл. I).



Мастичные материалы наносят кистью, набрызгом. Рулонные соединяют внахлест, все швы герметизируют горячей сваркой с помощью растворителя или водонепроницаемым адгезивом. Изоляцию заводят на примыкающие стены. На пароизоляцию наносят новую цементно-песчаную стяжку толщиной не менее 40 мм. Окончательно пол отделывают после высыхания стяжки.

*Восстановление пароизоляционного слоя наружных ограждающих конструкций* (стен, покрытий) осуществляют путем наклеивания на их внутреннюю поверхность рулонных материалов (моющихся обоев, полиэтиленовой пленки, листов стеклопластика соответствующей тональности) или нанесения порошков путем газопламенного их напыления. Рулонные материалы соединяют внахлест, швы герметизируют.

Газопламенное напыление заключается в распылении под давлением  $(2...4) \cdot 10^5$  Па неметаллических порошков: полиэтилена высокого и низкого давления, полиэтилена высокого давления с примесью полиизобутилена, эпоксидной смолы, полистирола, полиуретана и полимеров производных винилхлорида, группы полиамидных смол, полипропилена, полиметилметакрилата, поливинилацетата, политрифторхлорэтилена, ацетобутирата целлюлозы [57]. Распыление осуществляют с помощью установок УПН-1, УПН-4, УПН-4с, УПН-5, УПН-6, УМП-4-64, МГП-1, МГП-3. Разогретые частицы порошка попадают на поверхность, сплавляются и образуют монолитное пленочное покрытие толщиной 0,5...1,5 мм.

Поверхность ограждения перед газопламенным напылением тщательно очищают, затем грунтуют полиуретановым или алкидно-стирольным лаком с 10 % отвердителя и 5 % сиккатива.

Рабочий режим напыления зависит от порошка и подбирается опытным путем с учетом сыпучести, гранулометрического состава, плавкости, формы частиц. Первый слой полиэтиленового покрытия напыляют на свеженанесенную грунтовку при максимальном расстоянии от распыляющей форсунки до поверхности основания.

Для напыления тугоплавких материалов применяют установки типа УПН и МГП, для особо тугоплавких — плазменную установку УМП-4-64. В качестве источника тока используют сварочные мотор-генераторы постоянного тока ПС-300, ПС-500, ПОМ-1000, ВКСМ-1000 или полупроводниковые выпрямители.

При использовании плазменных установок получают покрытия меньшей пористости и с более ровной поверхностью, чем при применении газопламенных.

Пароизоляцию ограждающих конструкций путем металлизации их внутренней поверхности осуществляют с помощью электродуговых ручных металлизационных аппаратов ЭМ-3А, ЭМ-9 и станочных ЭМ-6, МЭС-1, УМА-1, предназначенных для распыления металлической проволоки. Расплавляется проволока на расстоянии 1...2 мм от отверстия сопла. Питание электрометаллизационных аппаратов осуществляется как переменным, так и постоянным током. В первом случае используют сварочные трансформаторы СТЭ-22, СТЭ-32, во втором — сварочные генераторы.

К экономии топливно-энергетических ресурсов приводит совершенствование объемно-планировочных решений зданий и сооружений, систем их вентиляции и отопления, применение эффективных строительных теплоизоляционных материалов (см. гл. II) и конструкций (см. гл. III), совершенствование методов нормирования теплозащиты зданий и микроклимата их помещений (см. гл. I), теплотехнических расчетов ограждающих конструкций (см. гл. IV) и контроля уровня их теплозащиты при разработке, строительстве и эксплуатации зданий (см. гл. V). Эффективное решение этой проблемы возможно при реализации следующих мероприятий по снижению теплопотерь в зданиях [46] (в скобках указано значение ожидаемой экономии в процентах за год).

1. Экономное расходование энергии, улучшение технической эксплуатации систем энергоснабжения зданий, повышение качества строительства (6...8 %).

В соответствии с рекомендациями ЦНИИЭПжилища\*, необходимо шире освещать вопросы теплового комфорта жилых и рабочих помещений, способы утепления окон и дверей, рациональные с точки зрения теплообмена в помещении, общедоступные приемы утепления квартир и подъездов по принципу «сделай сам» при материальной и технической поддержке соответствующих эксплуатационных служб, а также выполнение этих работ специализированными организациями, необходимость регулярной наладки систем отопления и вентиляции в каждой квартире и служебном помещении и недопустимость самостоятельной установки нагревательных приборов.

При жилищно-эксплуатационных службах и конторах следует организовать постоянные выставки и стенды, посвященные участию жителей в экономии топливно-энергетических ресурсов, а также выделять конкретных лиц, ответственных за их экономию в каждом подъезде, доме, микрорайоне, районе, городе с широким оповещением населения о принимаемых мерах экономии теплоресурсов по каждой жилой ячейке.

Систему денежных расчетов за расходуемое тепло следует усовершенствовать, создав у работников всех звеньев материальную заинтересованность в экономии топливно-энергетических ресурсов.

Целесообразна организация сети региональных и районных пунктов, осуществляющих регулярную проверку тепловой эффективности любого здания или уточнение его тепловой нагрузки как по просьбе потребителей, так и в обязательном порядке.

Следует расширить ассортимент теплоизоляционных и уплотняющих материалов; постоянно повышать технический уровень и квалификацию обслуживающего персонала по эксплуатации жилого фонда и осуществлять регулярную (не реже двух раз за отопительный период) контрольную техническую проверку эксплуати-

\* Жилые здания повышенной тепловой эффективности // Обзор. информ. / ЦНТИ.— Сер. 2, Жилые здания. 1986.— Вып. 1.— 40 с.

руемых зданий по выявлению фактических нагрузок на системы их теплоснабжения, а также резервов экономии топливно-энергетических ресурсов.

2. Реконструкция зданий и систем отопления, вентиляции (10...15 %).

В состав проектной документации на капитальный ремонт здания ЦНИИЭПжилища рекомендует\* включать монтажные чертежи совмещенной прокладки коммуникаций в технических этажах и подпольях, разработанные с учетом устройства проходов для профилактического осмотра и ремонта установленного оборудования; перечень скрытых конструктивных элементов, за которыми необходимо периодическое наблюдение, с указанием мест, где они могут быть вскрыты с наибольшей эффективностью; перечень работ по уплотнению стыковых соединений (см. настоящую главу); схемы возможного расположения на крыше оборудования, предназначенного для нанесения слоя дополнительного утепления ограждающих конструкций, восстановления их гидро- и пароизоляции, уплотнения стыков.

В проекте капитального ремонта следует улучшить решения типового проекта по обеспечению дальнейшей ремонтпригодности здания, повышению его долговечности и надежности, совершенствованию эксплуатационных качеств в соответствии с действующими на момент ремонта нормативными требованиями.

При реконструкции тепловых сетей необходимо оборудовать их измерительными устройствами для обеспечения наблюдений за потреблением тепловой энергии с большей точностью, чем по расходу топлива соответствующей ТЭС, производящей тепловую энергию. Это позволяет вносить коррективы при неоправданно большом потреблении, а также обоснованно распределять расходы между потребителями. Количество воды при этом измеряют водомером, устанавливаемым на выходной трубе; разницу температур измеряют термометрами, расположенными на входной и выходной трубах. Данные измерений переносятся в виде электрических сигналов на счетное устройство, где по зависимости  $Q = C_p G \Delta t \gamma_{H_2O}$  получают сведения об израсходованной тепловой энергии.

3. Использование нетрадиционных видов энергии для отопления: солнечной радиации (солнечные коллекторы устанавливают на крышах зданий, полученную тепловую энергию передают с помощью жидких теплоносителей в системы отопления или в основание зданий, являющееся аккумулятором тепла); теплоты поверхностных слоев земли (извлекаемой тепловыми насосами); внепиковой электроэнергии (14...17 %).

4. Повышение эффективности систем отопления и вентиляции: использование автоматических систем для регулирования подачи теплоты на основе измерительно-вычислительной техники (20...30 %); утилизация теплоты вентилируемого воздуха (10...12 %); термостатное регулирование подачи теплоты (10...15 %).

---

См. сноску на с. 205.

При управлении системами отопления и вентиляции с помощью микропроцессорной измерительной вычислительной системы получают наиболее экономичный температурный режим помещений путем повышения и снижения температуры по специальной программе, задаваемой в зависимости от характера эксплуатации помещения и жизнедеятельности в нем людей.

Принцип рекуперации теплоты вытяжного воздуха особенно эффективен для общественных и производственных зданий, где велики объемы вентилируемого пространства. При этом вытяжной воздух используется для нагрева приточного. Расход теплоты на нагрев приточного воздуха в зданиях указанного класса составляет 40...80 % общего расхода теплоты. При экономии его до 50 % сокращается на 20...40 % общий расход теплоты на отопление указанных зданий [46].

Для аккумуляции теплоты применяют специальные теплоемкие вкладыши, устанавливаемые в конструкции, которые позволяют аккумулировать, а затем отдавать теплоту в помещения за счет энергии фазовых превращений.

5. Разработка новых конструкций стен и покрытий, обладающих повышенными теплозащитными свойствами (см. гл. III) и окон с повышенными теплотехническими показателями (8...12 %).

Потери теплоты через остекление достигают 40...50 % общих потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции [46], так как через 1 м<sup>2</sup> окна с двойным остеклением тепловые потоки в два раза, а с одинарным остеклением — в три раза больше, чем через глухую наружную стену из традиционных материалов (см. гл. III). Однако уменьшение площади световых проемов не приводит к существенному сокращению потерь теплоты. Так, при сокращении площади светопроемов в 2 раза в зданиях различного назначения экономия теплоты составит 8...10 %. При полном исключении светопроемов (что, естественно, маловероятно) экономия не превысит 20 % из-за соответствующего увеличения площади глухих наружных ограждающих конструкций, имеющих конечное значение сопротивления теплопередаче. Поэтому основной путь — это совершенствование конструктивных решений окон.

Применение теплоотражающих стекол (на внутреннюю поверхность стекла наносят специальную пленку, отражающую часть теплоты в помещение) не приводит (по данным ЦНИИЭПжилища) к существенной экономии тепла (не более 5 %), так как инфильтрация этих окон одного порядка с обычными окнами, а их стоимость значительно выше при одновременном ухудшении светового режима помещений.

Расширена зона применения окон с тройным остеклением и раздельными переплетами. Одновременно ограничено применение окон со спаренными переплетами. В двойных окнах с раздельными переплетами в воздушной прослойке создается воздушный шлюз, где наружный воздух частично подогревается теплотой, передаваемой наружу через стекло, и расход теплоты на подогрев инфильтрующегося воздуха уменьшается по данным ЦНИИЭПжилища на 25...

30 %. В помещениях с окнами с отдельными переплетами выше обеспеченность нормируемых параметров микроклимата из-за снижения перепадов между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхности окна, а также уменьшения потоков теплоты от человека на поверхность окон.

Эффективный путь повышения теплотехнических показателей светопроемов — применение вентилируемых окон, например, двойных, экранированных третьим стеклом с зазорами в нижней и верхней зонах. При этом в заэкранной зоне циркулирует воздух помещения и температура внутренней поверхности экрана близка к температуре воздуха помещений.

При достаточной герметизации окон эффективным мероприятием является заполнение межстекольного пространства тяжелым газом или создание там разряжения.

Вентилируемые окна с использованием уходящей теплоты имеют повышенные теплозащитные качества. По рекомендациям НИИКТИ Минкоммунхоза СССР и НИИСК следует применять окна с двойной герметизацией притворов и регулируемой вентиляцией межстекольного пространства взамен окон по ГОСТ 11124—65\*. При этом герметизация наружных переплетов осуществляется со стороны межстекольного пространства, что является необходимым условием для сохранения воздухопроницаемости окон. Для герметизации наружного переплета со стороны межстекольного пространства в стандартных окнах со спаренными переплетами необходимо обеспечить отдельное закрывание наружных и внутренних переплетов, что достигается установкой наружных переплетов на трехкарточных петлях или перестановкой нижних карт петель наружного переплета с бруска внутреннего переплета на брусок оконной коробки. После перенавески наружный переплет фиксируется в закрытом положении при помощи задвижек, устанавливаемых на его вертикальном бруске.

Герметизация осуществляется со стороны межстекольного пространства путем оклейки оконной бумагой сопряжений вертикальных (боковых) и верхнего брусков наружного переплета с брусками оконной коробки. Незагерметизированными оставляют сопряжения нижнего бруска переплета с бруском оконной коробки и водосточные прорези в нижнем бруске коробки.

Для обеспечения движения наружного воздуха в помещение через межстекольное пространство, кроме открытых водосточных прорезей в нижнем бруске оконной коробки, в верхнем бруске внутреннего переплета просверливают пять Г-образных отверстий диаметром 12 мм.

Экономическую эффективность внедрения в практику строительства ограждающих конструкций с повышенными теплозащитными свойствами следует определять в соответствии с СН 509—78 по формуле

$$\Delta = [(Z_1 + Z_{c1}) K_{cc} + \Delta_s - (Z_2 + Z_{c2})] A, \quad (VI.1)$$

где  $Z_1$ ,  $Z_2$  — приведенные затраты на заводское изготовление ограждающих конструкций по сравниваемым вариантам базовой

(применяемой ранее) и усовершенствованной (с повышенными теплотехническими показателями) конструкций;  $З_{с1}$ ,  $З_{с2}$  — приведенные затраты на возведение конструкций на стройплощадке (без учета стоимости заводского изготовления);  $K_{cc}$  — коэффициент изменения срока службы усовершенствованной конструкции по сравнению с базовой;  $A$  — годовой объем продукции;  $Э_3$  — экономия в сфере эксплуатации конструкций за срок их службы, в соответствии с СН 509—78 определяется по формуле

$$Э_3 = \frac{(И_1 - И_2) - E_n (K_2^1 - K_1^1)}{P_2 - E_n}, \quad (VI.2)$$

где  $K_1^1$ ,  $K_2^1$  — капитальные вложения в сфере эксплуатации ограждающих конструкций по сравниваемым вариантам;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности;  $P_2$  — доля сметной стоимости усовершенствованной конструкции в расчете на 1 год ее службы, определяемая по зависимости  $P_2 = E_n / [(1 + E_n)^z - 1]$ , где  $z$  — срок службы конструкции;  $И_1$ ,  $И_2$  — годовые издержки в сфере эксплуатации для сравниваемых ограждающих конструкций — определяются затратами на планово-предупредительные ремонты и отопление помещений (кондиционирование); рассчитываются по формулам

$$\begin{aligned} И_1 &= [m C_T l_T z_0 (t_b - t_n^0) / R_0^0] + P_1^0; \\ И_2 &= [m C_T l_T z_0 (t_b - t_n^0) / R_0^0] + P_2^0, \end{aligned} \quad (VI.3)$$

где  $z_0$  — продолжительность отопительного периода (по СНиП 2.01.01—82\*);  $C_T$  — стоимость топлива в предполагаемом районе эксплуатации (по соответствующим прейскурантам);  $m$  — коэффициент, учитывающий дополнительные потери теплоты вследствие инфильтрации воздуха, равный 1,05;  $t_b$  — расчетная температура внутреннего воздуха (см. табл. I. 3...I. 9);  $t_n^0$  — расчетная температура наружного воздуха отопительного периода (по СНиП 2.01.01—82\*, СНиП II-33-75\*);  $l_T$  — коэффициент, учитывающий изменение стоимости топлива на перспективу (по СНиП II-3-79);  $R_0^0$  — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, принятой в качестве базовой;  $R_0^0$  — сопротивление теплопередаче внедряемой ограждающей конструкции с повышенными теплозащитными показателями;  $P_1^0$ ,  $P_2^0$  — затраты (удельные) на планово-предупредительные ремонты базовой и внедряемой конструкций соответственно.

6. Совершенствование конструкций осветительных установок, использования искусственного и естественного света (6...8 %).

7. Совершенствование объемно-планировочных решений зданий и их помещений (8...10 %).

Наиболее распространенная форма зданий — параллелепипеды или кубы. Удельная площадь наружных ограждающих конструкций, приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> развернутой площади здания указанной формы, составляет: для малоэтажных производственных зданий большой протяженности 1,5...2 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, жилых — 0,8...1 (но при куба-

туре и высоте здания, меньших в два раза) [46]. Чем меньше этот показатель, тем меньше тепловые потери. Зависимость в пределах реальных значений этого показателя линейная. В многоэтажных зданиях его значения снижаются до 0,5.

Дальнейшего снижения удельной поверхности и, соответственно, теплопотерь можно добиться только увеличивая высоту здания. Предпочтительны в этом отношении здания нетрадиционной формы — пирамидальной или сферической. Так строительство здания в форме пирамиды снижает удельную площадь при высоте этажа 4 м до 0,15 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>, а в форме полусферы диаметром 216 м — до 0,1 [46].

8. Строительство экспериментальных зданий и последующее внедрение результатов экспериментов в типовое проектирование (6...8 %).

9. Совершенствование нормативных документов, теоретических основ и методов расчета (6...8 %).

**УКАЗАТЕЛЬ ТАБЛИЦ**

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Таблица I.1. Гигиенические требования к тепловому режиму жилых помещений в разных климатических районах . . . . .                                                                            | 12 |
| Таблица I.2. Гигиенические требования к тепловому режиму жилища в зависимости от возрастной группы . . . . .                                                                                 | 12 |
| Таблица I.3. Расчетная температура воздуха жилых и общественных зданий в отопительный период . . . . .                                                                                       | 13 |
| Таблица I.4. Допустимые параметры воздуха в рабочей зоне производственных помещений и в обслуживаемой зоне жилых и общественных зданий в холодный и переходный периоды года . . . . .        | 15 |
| Таблица I.5. Оптимальные параметры воздуха на постоянных рабочих местах в рабочей зоне производственных и обслуживаемой зоне других помещений в холодный и переходный периоды года . . . . . | 15 |
| Таблица I.6. Нормы температуры и влажности воздуха помещений для крупного рогатого скота . . . . .                                                                                           | 16 |
| Таблица I.7. Нормы скорости движения воздуха в помещениях для крупного рогатого скота . . . . .                                                                                              | 17 |
| Таблица I.8. Нормы температуры и влажности воздуха помещений для содержания птицы . . . . .                                                                                                  | 17 |
| Таблица I.9. Параметры внутреннего воздуха в основных производственных помещениях инкубаторов и яйцесклада . . . . .                                                                         | 18 |
| Таблица I.10. Нормативные температурные перепады между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждающих конструкций . . . . .                                                       | 19 |
| Таблица I.11. Значение коэффициента <i>n</i> , учитывающего положение наружной поверхности ограждающей конструкции . . . . .                                                                 | 20 |
| Таблица I.12. Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций . . . . .                                                                                              | 20 |
| Таблица I.13. Коэффициенты минимального повышения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций . . . . .                                                                   | 23 |
| Таблица I.14. Требуемое сопротивление воздухопроницанию заполнений световых проемов . . . . .                                                                                                | 24 |
| Таблица I.15. Предельно допустимое приращение массового влагосодержания материалов . . . . .                                                                                                 | 25 |
| Таблица II.1 Размеры матов, мм . . . . .                                                                                                                                                     | 33 |
| Таблица II.2. Физико-механические характеристики плит . . . . .                                                                                                                              | 33 |

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Таблица II.3. Техничко-экономические показатели теплоизоляционных материалов                                                                           | 68  |
| Таблица III.1. Теплопроводность легкого бетона в сухом состоянии                                                                                       | 76  |
| Таблица III.2. Теплотехнические и экономические показатели однослойных бетонных стен                                                                   | 79  |
| Таблица III.3. Основные теплотехнические и экономические характеристики стеновых ограждающих конструкций                                               | 80  |
| Таблица III.4. Удельный расход топливно-энергетических ресурсов при возведении 1 м <sup>2</sup> наружных стен отапливаемых зданий из разных материалов | 80  |
| Таблица III.5. Теплопроводность арболита в зависимости от его плотности и вида заполнителя [при $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ]                       | 81  |
| Таблица III.6. Прочность арболита в зависимости от его плотности и вида заполнителя                                                                    | 82  |
| Таблица III.7. Физико-механические показатели пенопластов в зависимости от типа панели                                                                 | 86  |
| Таблица III.8. Номенклатура и технические характеристики основных типов алюминиевых конструкций                                                        | 88  |
| Таблица III.9. Экономический анализ изготовления комплексных плит покрытия на разных утеплителях                                                       | 92  |
| Таблица III.10. Заводская себестоимость устройства теплоизоляции                                                                                       | 93  |
| Таблица III.11. Марки керамзитоперлитобетона на гидрофобизированном вспученном перлите                                                                 | 96  |
| Таблица III.12. Теплопроводность керамзитоперлитобетона (в сухом состоянии) на гидрофобизированном перлите                                             | 96  |
| Таблица III.13. Составы сухих штукатурных смесей, % от массы                                                                                           | 97  |
| Таблица IV.1. Техничко-экономические показатели стеновых панелей                                                                                       | 100 |
| Таблица IV.2. Приведенные затраты для стеновых панелей                                                                                                 | 101 |
| Таблица IV.3. Техничко-экономические показатели стеновых панелей                                                                                       | 102 |
| Таблица IV.4. Требуемые теплотехнические показатели ограждающих конструкций мобильных (инвентарных) зданий в обычном исполнении                        | 103 |
| Таблица IV.5. Сопротивления влагообмену на поверхностях конструкций различной влажности                                                                | 105 |
| Таблица IV.6. Значения коэффициента $\nu$ в зависимости от его геометрической формы и размеров                                                         | 109 |
| Таблица IV.7. Значения коэффициента $\nu$ стыков трехслойных металлических панелей                                                                     | 116 |
| Таблица IV.8. Значения поправочного коэффициента $r_n$                                                                                                 | 117 |
| Таблица V.1. Критерий В. И. Романовского $d_k$ для различного числа измерений $n$ и вероятности $p_k$                                                  | 140 |
| Таблица V.2. Основные теплотехнические показатели ограждающих конструкций здания                                                                       | 149 |
| Таблица V.3. Параметры характерных режимов эксплуатации, имитируемых в процессе испытаний                                                              | 153 |
| Таблица V.4. Параметры испытаний строительных пенопластов на морозостойкость                                                                           | 162 |
| Таблица VI.1. Составы и свойства теплозвукоизоляционных штукатурок на основе вспученного перлита                                                       | 182 |
| Таблица VI.2. Физико-механические свойства двухкомпонентных тиokolовых мастик                                                                          | 187 |
| Таблица VI.3. Физико-механические свойства однокомпонентных тиokolовых мастик                                                                          | 188 |
| Таблица VI.4. Физико-механические свойства бутылкаучуковых мастик                                                                                      | 189 |
| Таблица VI.5. Физико-механические свойства поризола                                                                                                    | 190 |



1. Автоматизована система вимірювання температур / В. Сірик, В. Хоменко, Г. Фаренюк, П. Мартинюк // Сіл. буд-во.— 1982.— № 2.— С. 20—21.
2. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести.— М.: Стройиздат, 1973.— 431 с.
3. Александровский С. В. Прогнозирование долговечности наружных стеновых ограждающих конструкций из ячеистого бетона // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. IV респ. науч.-техн. конф. / НИИ Строительства Госстроя ЭССР — Таллин., 1981 — Ч. II.— С. 139—143.
4. Александровский С. В. Расчетные воздействия для прогнозирования долговечности ограждающих конструкций из ячеистого бетона // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Тез. докл. IV респ. науч.-техн. конф. / НИИ Строительства Госстроя ЭССР — Таллин., 1981 — Ч. II.— С. 134—138.
5. Александровский С. В. Метод прогнозирования долговечности наружных ограждающих конструкций // Исследования по строительной теплофизике / НИИСФ.— М., 1984.— С. 81—95.
6. Александровский С. В., Дроздов В. А., Штанько А. Е. Применение голограмм в исследованиях материалов и конструкций // Исследования теплозащиты зданий: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М., 1983.— С. 103—124.
7. Альтшуллер А. М., Апарина Е. И. Об экономичности применяемых наружных стеновых панелей // Жил. стр-во.— 1981.— Вып. 11.— С. 19—20.
8. Арендарский Е. А. Долговечность жилых зданий.— Стройиздат, 1983.— 254 с.
9. А. с. 937502, СССР, МКл<sup>3</sup> С 09 К 3/10. Гидроизоляционная мастика / В. П. Хоменко, М. С. Дяминов, В. Я. Момот и др.— Оpubл. 23.06.82. Бюл. № 23.
10. А. с. 887548 СССР, МКл<sup>3</sup> С 04 В 41/32. Способ нанесения гидроизоляционного покрытия на строительные конструкции / В. П. Хоменко, В. Я. Момот, М. С. Дяминов и др.— Оpubл. 07.12.81, Бюл. № 45.
11. А. с. 572691 СССР, МКл<sup>3</sup> G 01 N 25/56. Способ определения коэффициента влагопроводности капиллярно-пористых материалов / Ю. Д. Ясин, НИИСФ (СССР).— Оpubл. 15.09.77, Бюл. № 34.
12. А. с. 1076776 СССР, МКл<sup>3</sup> G 01 K 17/08. Устройство для измерения составляющих теплового потока при внешнем тепломассообмене (его варианты) / Л. В. Декуша, О. А. Геращенко, Т. Г. Грищенко, В. Г. Федоров; ИТТФ АН УССР (СССР).— Оpubл. 29.02.84, Бюл. № 8.
13. Берлинер М. А. Измерения влажности.— М.: Энергия, 1973.— 399 с.
14. Богословский В. Н. Строительная теплофизика.— М.: Высш. шк., 1982.— 415 с.
15. Богуславский Л. Д. Экономическая эффективность оптимизации уровня теплозащиты зданий.— М.: Стройиздат, 1981.— 98 с.
16. Бойко М. Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий.— Л.: Стройиздат, 1975.— 333 с.
17. Гидроизоляционные и герметизирующие материалы для ограждающих конструкций зданий // Обзор. информ. / ВНИИИС.— Сер. 8, Стр-во и архитектура. 1984.— Вып. 1: Строит. конструкции.— 61 с.
18. Гиндоян А. Г. Тепловой режим конструкций полов.— М.: Стройиздат, 1984.— 221 с.
19. Ильинский В. М. Строительная теплофизика.— М.: Высш. шк., 1974.— 318 с.
20. Использование тепловизионной техники в строительстве // Обзор. информ. /

- ЦНТИ.— 1983.— Вып. 5: Инженерное оборудование населенных мест, жилых и общественных зданий.— 21 с.
21. *Калядин Ю. А.* К расчету требуемого сопротивления теплопередаче легких ограждающих конструкций с малой тепловой инерцией // Строительная теплофизика: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М., 1976.— Вып. 17.— С. 44—48.
  22. *Кротов А. П.* Влияние воздухопроницаемости на уровень теплозащиты металлических панельных ограждений // Тепловой режим и долговечность зданий: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М.— 1981.— С. 30—40.
  23. *Кротов А. П.* Расчет приведенного сопротивления теплопередаче легких слоистых наружных ограждений зданий // Исследования по строительной теплофизике / НИИСФ.— М., 1984.— С. 40—48.
  24. *Лыков А. В.* Тепломассообмен: Справочник.— М.: Энергия, 1978.— 478 с.
  25. Методические рекомендации по использованию методов радиационного контроля теплотехнических качеств ограждающих конструкций инвентарных зданий / НИИСФ.— К., 1983.— 20 с.
  26. Методические рекомендации по определению теплотехнических показателей ограждающих конструкций в лабораторных условиях / НИИСФ.— К. 1982.— 23 с.
  27. Методические рекомендации по ускоренным испытаниям конструктивных элементов стыков и материалов крупнопанельных зданий на старение и погодостойкость в климатической камере / НИИСФ.— К., 1978.— 26 с.
  28. Методические указания по приготовлению и применению теплозвукоизоляционной штукатурки / НИИСФ.— К., 1978.— 15 с.
  29. *Нацневский Ю. Д., Хоменко В. П., Заиончковский Б. Ф.* Эффективные строительные материалы: Справочное пособие.— К.: Будівельник, 1980.— 261 с.
  30. Оптимизация теплозащиты зданий / ВНИИИС.— М., 1983.— Вып. 2.— 60 с.
  31. *Перкинс Ф.* Железобетонные сооружения: Ремонт, гидроизоляция и защита.— М.: Стройиздат, 1980.— 254 с.
  32. Предотвращение повреждений конструкций в жилищном строительстве / Е. Шильд, Р. Освальд, Д. Роджер, Х. Швайкерт.— М.: Стройиздат.— 1980.— Т. 1.— 192 с.
  33. *Преображенский В. П.* Теплотехнические измерения и приборы.— М.: Энергия, 1978.— 702 с.
  34. Рекомендации по определению фазового состава влаги в порах строительных материалов / НИИСФ.— М.: Стройиздат, 1985.— 46 с.
  35. Рекомендации по теплотехническому расчету мобильных (сборно-разборных и передвижных) домов для Крайнего Севера / ЛенЗНИИЭП.— Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние.— 1977.— 65 с.
  36. *Рогонский В. А., Костиц А. И., Шеряков В. Ф.* Эксплуатационная надежность зданий.— Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1983.— 280 с.
  37. *Романенков И. Г.* Физико-механические свойства пенистых пластмасс.— М.: Изд-во стандартов, 1970.— 126 с.
  38. Руководство по линейному определению влажности в ограждающих конструкциях неразрушающим методом / НИИСФ.— М.: Стройиздат, 1980.— 30 с.
  39. Руководство по определению экономически оптимального сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий различного назначения / НИИСФ.— М.: Стройиздат, 1981.— 26 с.
  40. Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий / НИИСФ.— М.: Стройиздат, 1984.— 164 с.
  41. Руководство по теплотехническому расчету и проектированию ограждающих конструкций зданий / НИИСФ.— М.: Стройиздат, 1985.— 143 с.
  42. Руководство по теплотехническому расчету светопрозрачных ограждений промышленных зданий / ЦНИИПромзданий.— М.: Стройиздат, 1981.— 48 с.
  43. Руководство по физико-механическим испытаниям строительных пенопластов / ЦНИИСК им. Кучеренко.— М.: Стройиздат, 1973.— 86 с.
  44. *В. Б. Сафронов, А. П. Баглай, В. В. Беглецов.* Эластичные герметики в строительстве.— К.: Будівельник, 1975.— 238 с.
  45. *Табунщиков Ю. А.* Теплоустойчивость и требуемое сопротивление теплопередаче легких конструкций в зимних условиях // Исследования по строительной физике: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М., 1975.— Вып. 10.— С. 52—59.
  46. Теплоизоляция наружных стен общественных зданий // Обзор. информ. / ВНИИИС.— М., 1984.— Вып. 9.— 46 с.

47. Теплотехнический справочник / Общ. ред. В. И. Юренева и П. Д. Лебедева.— М.: Энергия, 1976.— Т. 2.— 895 с.
48. Ушков Ф. В. Теплотехнические свойства крупнопанельных зданий и расчет стыков.— М.: Стройиздат, 1967.— 237 с.
49. Фаренюк Г. Г. Оценка времени установления стационарного теплового режима при теплотехнических испытаниях // Совершенствование методов расчетов и испытаний строительных конструкций / НИИСК.— К.: Будівельник, 1980.— С. 75—80.
50. Фаренюк Г. Г. Эксплуатационные качества ограждающих конструкций инвентарных контейнерных зданий // Тепловой режим, теплоизоляция и долговечность зданий: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М., 1981.— С. 94—99.
51. Фаренюк Г. Г. Косвенный метод оценки долговечности наружных ограждающих конструкций, основанный на экономических подходах // Исследования теплозащиты зданий: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М.— 1983.— С. 40—44.
52. Фаренюк Г. Г. Экспериментальные исследования долговечности фенольного пенопласта резопен // Исследования теплозащиты зданий: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М., 1983.— С. 94—99.
53. Филиппов А. А., Кобринский Г. С. Стыки и детали крупнопанельных зданий с ограждающими конструкциями из ячеистых бетонов.— М.: Стройиздат, 1979.— 143 с.
54. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий.— М.: Стройиздат, 1973.— 285 с.
55. Фридман О. М. Электроосмотический метод ликвидации сырости стен зданий.— Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1971.— 94 с.
56. Хоменко В. П. Улучшение теплофизических свойств и повышение долговечности строительных конструкций.— К.: О-во «Знание», УССР, 1983.— 14 с.
57. Хоменко В. П., Власюк Н. В. Защита строительных конструкций от коррозии: Справочное пособие.— К.: Будівельник, 1971.— 140 с.
58. Хоменко В. П., Кожан Е. А., Седих Ю. І. Будівельні матеріали з відходів деревини.— К.: Будівельник, 1971.— 80 с.
59. Хоменко В. П., Цепелев О. А. Підвищення довговічності та поліпшення теплофізичних якостей будівельних конструкцій.— К.: Т-во «Знання», УРСР, 1979.— 18 с.
60. Хоменко В. П., Синер Г. Ф., Топольский М. Д. Как повысить теплозащиту крупнопанельных зданий // Стр.-во и архитектура.— 1985.— № 6.— С. 26.
61. Хоменко В. П., Физбин В. Ф., Фаренюк Г. Г. Радиационный контроль теплотехнических свойств конструкций // Строит. материалы и конструкции.— 1982.— № 3.— С. 31—32.
62. Хлевчук В. Р., Артыпкаев Е. Т. Теплотехнические и звукоизоляционные качества ограждений домов повышенной этажности.— М.: Стройиздат, 1979.— 254 с.
63. Хомутов А. Ф. Инженерный метод расчета наружных стен зданий с периодически вентилируемой воздушной прослойкой // Исследования теплозащиты зданий: Сб. науч. тр. / НИИСФ.— М., 1983.— С. 32—39.
64. Хомутов А. Ф. Повышение уровня теплозащиты наружных ограждений производственных зданий // Тепловой режим, теплоизоляция и долговечность зданий / НИИСФ.— М., 1981.— С. 50—55.
65. Шаров И. И. Замоноличивание и герметизация стыков сборных железобетонных конструкций.— М.: Стройиздат, 1980.— 231 с.
66. Шаповалов И. С., Лицкевич В. К. Микроклимат квартир.— М.: Знание, 1975.— 63 с.
67. Эксплуатационные свойства наружных стен панельных зданий // Обзор информ. / ВНИИИС.— 1983.— Вып. 2: Строит. конструкции.— 48 с.

## Введение

### Принятые обозначения

#### I. Теплофизические свойства строительных материалов и нормируемые показатели теплофизических качеств ограждающих конструкций и микроклимата зданий

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Теплофизические свойства строительных материалов и теплотехнические показатели ограждающих конструкций . . . . . | 6  |
| Показатели микроклимата помещений . . . . .                                                                      | 11 |
| Нормы теплоизоляции ограждающих конструкций . . . . .                                                            | 18 |
| Нормирование воздухо- и паронепроницаемости ограждающих конструкций и их стыков . . . . .                        | 23 |
| Надежность теплозащиты зданий и ограждающих конструкций . . . . .                                                | 26 |

#### II. Выбор взаимозаменяемых теплоизоляционных материалов для утепления зданий и сооружений

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Классификация эффективных теплоизоляционных материалов . . . . .                    | 28 |
| Неорганические теплоизоляционные материалы . . . . .                                | 30 |
| Органические теплоизоляционные материалы . . . . .                                  | 55 |
| Взаимозаменяемость теплоизолирующих материалов в ограждающих конструкциях . . . . . | 66 |

#### III. Эффективные ограждающие конструкции с улучшенными теплоизоляционными показателями

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Классификация . . . . .                                                 | 72 |
| Панели стеновые наружные бетонные, железобетонные и кирпичные . . . . . | 75 |
| Многослойные ограждающие конструкции . . . . .                          | 84 |
| Плиты покрытий . . . . .                                                | 91 |
| Повышение теплозащиты ограждающих конструкций . . . . .                 | 94 |

#### IV. Расчет теплотехнических показателей ограждающих конструкций на стадии проектирования

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Определение нормируемого сопротивления теплопередаче ограждений жилых и производственных зданий . . . . . | 99  |
| Теплотехнический расчет однослойных конструкций . . . . .                                                 | 103 |
| Расчет теплозащиты зданий с трехслойными ограждающими конструкциями из традиционных материалов . . . . .  | 107 |
| Определение теплозащиты, теплоустойчивости и влажности облегченных ограждающих конструкций . . . . .      | 112 |
| Теплотехнический расчет ограждений с воздушными прослойками . . . . .                                     | 120 |
| Теплотехнический расчет светопрозрачных ограждений и полов зданий . . . . .                               | 124 |

#### V. Контроль теплозащиты ограждающих конструкций

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Определение теплофизических свойств теплоизоляционных материалов . . . . .                                                           | 127 |
| Методы экспериментального определения теплотехнических показателей ограждающих конструкций зданий на стадии проектирования . . . . . | 135 |

|                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Методы контроля теплозащитных качеств ограждающих конструкций в заводских и построечных условиях при приемке и эксплуатации зданий . . . | 142 |
| Методы оценки теплотехнических характеристик полов зданий . . .                                                                          | 146 |
| Повышение теплозащитных качеств многослойных ограждающих конструкций по результатам их исследований в лабораторных условиях . .          | 148 |
| Определение температурно-влажностного состояния ограждающих конструкций в лабораторных условиях . . . . .                                | 153 |
| Определение стойкости строительных материалов к климатическим воздействиям . . . . .                                                     | 157 |
| Оценка надежности теплозащиты зданий и сооружений . . . . .                                                                              | 165 |

## **VI. Обеспечение теплозащиты зданий и сооружений в процессе ремонта и эксплуатации**

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Восстановление теплоизоляционных свойств ограждающих конструкций .                                                           | 174 |
| Восстановление герметизации стыков ограждающих конструкций . . .                                                             | 185 |
| Обеспечение необходимого влажностного режима ограждающих конструкций путем восстановления их паро- и гидроизоляции . . . . . | 195 |
| Пути снижения потерь теплоты в зданиях . . . . .                                                                             | 205 |
| Указатель таблиц . . . . .                                                                                                   | 210 |
| Список литературы . . . . .                                                                                                  | 212 |

**Хоменко В. П., Фаренюк Г. Г.**

**X76**      **Справочник по теплозащите зданий.— К.: Будівельник, 1986.— 216 с., ил.— Библиогр.: с. 212—214.**

В справочнике даны характеристики теплозащитных материалов, способы определения их теплофизических свойств и стойкости к климатическим воздействиям. Содержатся методы теплотехнического расчета, оценки долговечности и теплотехнических параметров ограждающих конструкций, а также контроля теплозащиты зданий при строительстве и эксплуатации. Нормативные документы приведены по состоянию на 1 декабря 1985 г. Предназначен для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

**X**      **3204000000—090**      **72.86**  
**М203(04)—86**

**38.637я2**